

**Д.Д. Донской**  
**В.М. Зациорский**

# **БИОМЕХАНИКА**

---

*Учебник  
для  
институтов  
физической  
культуры*

---

**«ФИЗКУЛЬТУРА И СПОРТ»**

Д. Д. ДОНСКОЙ, В. М. ЗАЦИОРСКИЙ

# БИОМЕХАНИКА

---

Допущено Комитетом по физической культуре и спорту  
при Совете Министров СССР в качестве учебника для институтов  
физической культуры



МОСКВА  
«ФИЗКУЛЬТУРА И СПОРТ»  
1979

Д67 Донской Д. Д., Зациорский В. М.  
Биомеханика: Уч-ник для ин-тов физ. культ. — М,  
Физкультура и спорт, 1979. — 264 с., ил.

Авторы учебника: Д. Д. Донской — доктор педагогических наук, профессор кафедры биомеханики ГЦОЛИФКа; В. М. Зациорский — доктор педагогических наук, профессор, заведующий той же кафедрой.

Учебник предназначен для студентов институтов физической культуры. Он написан в соответствии с новой программой по биомеханике и отражает современные научные данные в этой области. Ряд разделов («Биомеханика двигательных качеств», «Индивидуальные и групповые особенности моторики» и др.) впервые включены в учебник.

60901—113  
Д                      78—79  
009(01)—79

ББК 75.0  
7А.06

3401000000

© Издательство «Физкультура и спорт», 1979 г.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс биомеханики, введенный в учебный план институтов физической культуры в 1958 г., рассчитан на спортивные и педагогические факультеты. Цель курса — ознакомить студентов с биомеханическими основами физических упражнений, в частности с основами спортивной техники, вооружить знаниями, необходимыми для эффективного применения физических упражнений в качестве средства физического воспитания и повышения уровня спортивных достижений.

В результате изучения курса студенты должны овладеть биомеханическим обоснованием техники физических упражнений как методом исследования, позволяющим раскрывать специфику физики живого, понимать суть движений в двигательной деятельности. Кроме решения образовательных задач в процессе изучения биомеханики важно решать задачи воспитательные, используя для формирования диалектико-материалистического мировоззрения богатейший материал о формах движения материи и их развитии.

Содержание курса отражает современное состояние биомеханики как биологической науки с педагогической направленностью и развитие ее как учебной дисциплины. В качестве теоретической основы курса приняты положения отечественной школы биомеханики, созданной трудами Н. А. Бернштейна.

В настоящем издании учебника введены новые главы о биомеханике двигательных качеств человека (гл. V), особенностях моторики лиц разного пола, возраста и спортивной квалификации (гл. XI), биомеханическом обосновании спортивно-технического мастерства (гл. XII); переработана гл. IX о перемещающих движениях; переработан и перегруппирован материал остальных глав с целью усилить внимание, в частности к вопросам энергетики и управления движениями<sup>1</sup>.

Поскольку студенты должны владеть знаниями физики в объеме программы средней школы, в учебнике нет ни систематического повторения, ни последовательного введения понятий и законов физики — теоремы приводятся без их вывода. Терминология дана в соответствии с рекомендациями Комитета научно-технической терминологии Академии наук СССР (1977г.) с небольшими изменениями, вызванными спецификой курса. В учебнике не проводится детальный анализ отдельных упражнений, так как это входит в задачу учебников по соответствующим спортивным дисциплинам. Главное внимание уделено изложению понятий и законов биомеханики и путей биомеханического обоснования спортивной техники, овладев которыми можно успешно изучать любое движение. При подготовке учебника использованы материалы научных исследований последних лет.

---

<sup>1</sup> Методика исследования в данном учебнике не излагается, так как она приведена в «Практикуме по биомеханике», подготовленном кафедрой биомеханики ГДОИФК.



## ПРЕДМЕТ И МЕТОД БИОМЕХАНИКИ СПОРТА

### § 1. Предмет биомеханики

Предмет науки раскрывает, что именно и с какой целью изучает *Биомеханика — наука о законах механического движения в живых системах.*

В самом широком смысле к живым системам<sup>1</sup> (биосистемам) относят: а) целостные организмы (например, человек); б) их органы и ткани, а также жидкости и газы в них (внутриорганизменные системы) и даже в) объединения организмов (например, взаимодействующая пара акробатов, противодействующие борцы).

Биомеханика спорта как учебная дисциплина изучает движение человека в процессе физических упражнений. Она рассматривает двигательные действия спортсмена как системы взаимно связанных движений (о б ъ е к т п о з н а н и я). При этом исследуются механические и биологические причины движений и зависящие от них особенности двигательных действий в различных условиях (п л а с т ь и з у ч е н и я).

Для лучшего понимания сути и роли механического движения человека рассмотрим основные понятия о движении вообще и движениях организмов (например, человека) в частности.

#### 1.1. Понятие о формах движения

*Движение как форма существования материи так же многообразно, как многообразен мир.*

В восходящем развитии материи формировались все более высокие уровни ее организации (структурные уровни материи): от неживой материи — к живой, от живой — к мыслящей. Для каждого из этих уровней характерны все более сложные свойства и закономерности существования и развития.

Как известно, Ф. Энгельс различал простые формы движения материи — механическую, физическую и химическую (проявляются в неживой, так и в живой природе) и сложные, высшие — биологическую (все живое) и социальную (общественные отношения, мышление).

---

<sup>1</sup> Диалектико-материалистическое понимание мира позволяет рассматривать в качестве систем материальные объекты (тело человека), процессы (движения), отношения и т. п. (см. гл. VI).

Каждая сложная форма движения всегда включает в себя более простые формы. Простейшая форма — механическая, она существует везде. Однако чем выше форма движения, тем менее существенна механическая форма: движение на каждом уровне качественно характеризуется соответственно более высокой формой. Таким образом, каждая высшая форма обладает собственной качественной спецификой и качественно отличается от низших форм. При этом высшие формы неразрывно связаны с низшими.

Двигательные действия человека, которые изучаются в биомеханике спорта, включают в себя механическое движение. Именно оно представляет собой непосредственную цель двигательного действия человека (переместиться самому, переместить снаряд, противника, партнера и т.д.). Но механическое движение осуществляется при определенном участии в двигательном действии более высоких форм движения. Поэтому биологическая механика (биомеханика) шире и глубже, чем механика неживых тел; она качественно отличается от механики последних.

## 2. Механическое движение в живых системах

Механическое движение в живых системах проявляется как: а) перемещение всей биосистемы относительно ее окружения (среды, опоры, физических тел) и б) деформация<sup>1</sup> самой биосистемы — перемещение одних ее частей относительно других.

Основными законами механики Ньютона описывают движение абстрактных абсолютно твердых тел, которые не деформируются. Таких тел в природе не существует. Но в так называемых твердых телах деформации бывают столь малы, что их нередко можно и не учитывать. В живых же системах существенно изменяется относительное расположение их частей. Эти изменения и есть движения человека. Сами части живых систем (например, позвоночный столб, грудная клетка) также подчас существенно деформируются. Поэтому, изучая движение живой системы, имеют в виду, что работа сил тратится и на перемещение тела в целом, и на деформации. При этом всегда имеются потери энергии, ее рассеяние. Чисто механического движения вообще в природе не существует. Оно всегда сопровождается превращениями механической энергии в другие виды (например, в тепловую) и ее потерями.

Механическое движение человека, изучаемое в биомеханике спорта, происходит под воздействием внешних механических сил (тяжести, трения и многих других) и сил тяги мышц. Последние же управляются центральной нервной системой и, следовательно, обусловлены физиологическими процессами. Поэтому для достаточно полного понимания природы живого движения необходимо не только изучение собственно механики движений, но и рассмотрение их биологической стороны. Именно она определяет причины организации механических сил.

<sup>1</sup> В теории упругости деформациями называются только относительное удлинение и углы сдвига. В курсе биомеханики изменение конфигурации системы (тела человека) называется также как деформация (см. гл. III — позная деформация).



Каждая сложная форма движения всегда включает в себя более простые формы. Простейшая форма — механическая, она существует везде. Однако чем выше форма движения, тем менее существенна механическая форма: движение на каждом уровне качественно характеризуется соответственно более высокой формой. Таким образом, каждая высшая форма обладает собственной качественной спецификой и «несводима» к низшим формам. При этом высшие формы неразрывно связаны с низшими.

Двигательные действия человека, которые изучаются в биомеханике спорта, включают в себя механическое движение. Именно оно представляет собой непосредственную цель двигательного действия человека (переместиться самому, переместить снаряд, противника, партнера и т. п.). Но механическое движение осуществляется при определяющем участии в двигательном действии более высоких форм движения. Поэтому биологическая механика (биомеханика) шире и намного сложнее, чем механика неживых тел; она качественно отличается от механики последних.

## 1.2. Механическое движение в живых системах

*Механическое движение в живых системах проявляется как: а) передвижение всей биосистемы относительно ее окружения (среды, опоры, физических тел) и б) деформация<sup>1</sup> самой биосистемы — передвижение одних ее частей относительно других.*

Основные законы механики Ньютона описывают движение абстрактных абсолютно твердых тел, которые не деформируются. Таких тел в природе не существует. Но в так называемых твердых телах деформации бывают столь малы, что их нередко можно и не учитывать. В живых же системах существенно изменяется относительное расположение их частей. Эти изменения и есть движения человека. Сами части живых систем (например, позвоночный столб, грудная клетка) также подчас существенно деформируются. Поэтому, изучая движение живой системы, имеют в виду, что работа сил тратится и на передвижение тела в целом, и на деформации. При этом всегда имеются потери энергии, ее рассеяние. Чисто механического движения вообще в природе не существует. Оно всегда сопровождается превращениями механической энергии в другие виды (например, в тепловую) и ее потерями.

Механическое движение человека, изучаемое в биомеханике спорта, происходит под воздействием внешних механических сил (тяжести, трения и многих других) и сил тяги мышц. Последние же управляются центральной нервной системой и, следовательно, обусловлены физиологическими процессами. Поэтому для достаточно полного понимания природы живого движения необходимо не только изучение собственно механики движений, но и рассмотрение их биологической стороны. Именно она определяет причины организации механических сил.

<sup>1</sup> В теории упругости деформациями называются только относительное удлинение и углы сдвига, в курсе биомеханики изменение конфигурации системы (тела человека) условно рассматривается также как деформация (см. гл. III — позная деформация).



Надо знать, что не существует особых законов механики для живого мира. Но насколько живые системы отличаются от абстрактных абсолютно твердых тел, настолько же механическое движение живого сложнее движения абсолютно твердого тела. Следовательно, применяя общие законы механики к живым объектам, необходимо учитывать не только их механические особенности, но и биологические (например, причины приспособления движений человека к условиям, пути совершенствования движений, влияние утомления).

### 1.3. Особенности механического движения человека

*Двигательная деятельность человека осуществляется в виде двигательных действий, которые организованы из многих взаимосвязанных движений (системы движений).*

Двигательная деятельность человека — одно из сложнейших явлений в мире. Она сложна не только потому, что очень непросты функции органов движения, а еще и потому, что в ней участвует сознание как продукт наиболее высокоорганизованной материи — мозга. Поэтому двигательная деятельность человека существенно отличается от деятельности животных. В первую очередь речь идет об осознанной целенаправленной активности человека, о понимании смысла ее, о возможности контролировать и планомерно совершенствовать свои движения. Сходство между движениями животных и человека имеется только на чисто биологическом уровне. При помощи двигательной деятельности человек в процессе физического воспитания активно преобразует свою собственную природу, физически совершенствуется. Он преобразует мир, используя возможности научно-технического прогресса, в конечном счете также посредством двигательной деятельности (действия, речь, письмо и т. п.). Двигательная деятельность человека складывается из его действий.

Двигательные действия осуществляются при помощи произвольных активных движений, вызванных и управляемых работой мышц. Человек произвольно, по собственной воле, начинает движения, изменяет их и прекращает, когда цель достигнута (И. М. Сеченов). В норме человек производит не просто движения, а всегда действия — утверждал создатель отечественной школы биомеханики Н. А. Бернштейн. Действия человека всегда имеют цель, определенный смысл. Еще Ньютон поставил вопрос «каким образом движения тел следуют воле?», т. е. достигают поставленной цели. Но только в наше время начинают разрабатывать механику целенаправленных (произвольных) движений человека, исходя из цели движений<sup>1</sup>.

Движения отдельных частей тела объединены в управляемые системы движений, целостные двигательные акты (например, гимнастические упражнения, способы передвижения на лыжах, приемы игры в баскетбол). В системы движений входит также и активное сохранение положений отдельных частей тела (в суставах), а иногда и всего тела. Каждое движение выполняет свою роль в целостном действии, так или

<sup>1</sup> Г. В. Корнев. Введение в механику человека. М., «Наука», 1977



иначе соответствует цели действия. Если спортсмен будет находить и осуществлять цель в каждом движении, то и действия будут лучше приводить к ней.

Хотя причины движений в биомеханике и рассматриваются с точки зрения механики и биологии, их закономерности надо брать во взаимосвязи, учитывая роль человеческого сознания в целенаправленном управлении движениями. Именно взаимосвязь механических и биологических закономерностей позволяет раскрыть специфику биомеханики. Сознательное управление движениями с использованием этой специфики обеспечивает их высокую эффективность в различных условиях исполнения.

## § 2. Задачи биомеханики спорта

Задачи каждой области знания определяют ее содержание — ее теорию и метод; последние разрабатываются для решения этих задач. Общая задача охватывает всю область учения в целом; частные же задачи важны при изучении конкретных вопросов изучаемых явлений.

### 2.1. Общая задача изучения движений

*Общая задача изучения движений человека в биомеханике спорта — оценка эффективности приложения сил для более совершенного достижения поставленной цели.*

Изучение движений в биомеханике спорта в конечном счете направлено на то, чтобы найти совершенные способы двигательных действий и научить лучше их исполнять. Поэтому оно имеет ярко выраженную педагогическую направленность.

Прежде чем приступить к разработке более совершенных способов действий, следует оценить уже существующие. Отсюда вытекает задача определения эффективности способов исполнения изучаемого действия. Необходимо узнать, от чего зависит их эффективность, в каких условиях и как лучше их исполнять. Для этого следует оценивать их совершенство как соответствие движений поставленной цели. По выражению А. А. Ухтомского, биомеханика исследует, «каким образом полученная механическая энергия движения и напряжения может приобрести рабочее применение»<sup>1</sup>.

Наиболее полное решение этой основной задачи в спорте дает материал, необходимый для проведения научно обоснованного тренировочного процесса.

### 2.2. Частные задачи биомеханики спорта

*Частные задачи биомеханики спорта состоят в изучении следующих основных вопросов: а) строение, свойства и двигательные функции тела спортсмена; б) рациональная спортивная техника и в) техническое совершенствование спортсмена.*

---

<sup>1</sup> А. А. Ухтомский. Собр. соч., т. III. Изд. ЛГУ, 1951.



Поскольку особенности движений зависят от объекта движений — тела человека, в биомеханике спорта изучают (с точки зрения биомеханики) строение опорно-двигательного аппарата, его механические свойства и функции (включая показатели двигательных качеств) с учетом возрастных и половых особенностей, влияния уровня тренированности и т. п. Короче говоря, первая группа задач — изучение самих спортсменов, их особенностей и возможностей.

Чтобы эффективно выступать на соревнованиях, спортсмен должен владеть наиболее рациональной для него техникой. От того, из каких движений и как построены двигательные действия, зависит их совершенство. Поэтому в биомеханике спорта детально исследуют особенности различных групп движений и возможности их совершенствования. Изучают ныне существующую спортивную технику, а также разрабатывают новую, более рациональную.

Данные об изменениях спортивной техники в процессе тренировки позволяют разрабатывать основу методики технического совершенствования спортсмена. Исходя из особенностей рациональной техники, определяют рациональные пути ее построения, средства и методы повышения спортивно-технического мастерства.

Таким образом, биомеханическое обоснование технической подготовки спортсменов подразумевает: определение особенностей и уровня подготовленности тренирующихся, планирование рациональной спортивной техники, подбор вспомогательных упражнений и создание тренажеров для специальной физической и технической подготовки, оценку применяемых методов тренировки и контроль за их эффективностью.

### **§ 3. Содержание биомеханики спорта**

Биомеханика как наука и как учебная дисциплина характеризуется накопленными знаниями; они формируются в определенную систему основных положений — теорию биомеханики. Вместе с тем разрабатываются пути получения знания — метод биомеханики. Теория и метод выражены соответствующими понятиями и законами; они и раскрывают содержание биомеханики.

#### **3.1. Теория биомеханики спорта**

*В основе современного понимания двигательных действий заложен системно-структурный подход, который позволяет рассматривать тело человека как движущуюся систему, а сами процессы движения — как развивающиеся системы движений.*

Материалистическая диалектика рассматривает весь мир как системы, которым свойственна определенная связь тел и процессов. Системно-структурный подход представляет собой диалектический принцип научного познания целостности сложных объектов и процессов (систем). Этот подход к спортивной технике как предмету обучения направлен против метафизического расчленения целого без учета взаимодействия элементов. Он направлен и против механистического



«сведения» качественно сложных явлений к их более простым составляющим, не исчерпывающим данное целое.

Системно-структурный подход к изучению движений человека реализуется в теории структурности движений, заложенной идеями Н. А. Бернштейна. «Движение не есть цепочка деталей, а структура (в данном случае — система. — Д. Д.), дифференцирующаяся на детали, — структура целостная, при наличии в то же время высокой дифференциации элементов и разнообразно избирательных форм взаимоотношений между ними»<sup>1</sup>.

В теории структурности движений заложены следующие основные принципы:

принцип структурности построения систем движений — все движения в системе взаимосвязаны; именно эти структурные связи определяют целостность и совершенство действия;

принцип целостности действия — все движения в двигательном действии образуют единое целое, целостную систему движений, направленных на достижение цели. Изменение каждого движения так или иначе влияет на всю систему;

принцип сознательной целенаправленности систем движений — человек сознательно ставит цель, применяет целесообразные движения и управляет ими для достижения цели.

В основы теории биомеханики входят предпосылки механической обусловленности и рефлекторной природы движений. Все движения осуществляются под действием механических сил различного происхождения в полном соответствии с законами механики. Для всех движений в целом характерна рефлекторная природа управления двигательными действиями на основе принципа нервизма.

Исходя из общих положений теории, на их основе исследуют закономерности групп частных действий (теории удара, отталкивания, метаний и др.).

### 3.2. Метод биомеханики спорта

Метод биомеханики спорта — это основной способ исследования, путь познания закономерностей явлений. Теория биомеханики дает обоснование ее методу. Метод же определяет возможности получения новых данных, раскрытия новых закономерностей.

*Метод биомеханики в наиболее общем виде имеет в своей основе системный анализ и системный синтез действий с использованием количественных характеристик, в частности моделирование движений.*

Принципиальный путь познания — «соединение анализа и синтеза — разборка отдельных частей и совокупность, суммирование этих частей вместе»<sup>2</sup>. В изучении движений специфика метода заключается

<sup>1</sup> Н. А. Бернштейн. Исследования по биодинамике ходьбы, бега, прыжка. М., ФиС, 1940.

<sup>2</sup> В. И. Ленин. Философские тетради. М., Политиздат, 1956.



в определении конкретных способов системного анализа действий и их синтеза. Выявление состава элементов системы движений — этап познания целостности двигательного действия. Биомеханика, как наука экспериментальная, опирается на опытное изучение движений. При помощи приборов регистрируются количественные особенности (характеристики) движений, например траектории скорости, ускорения, позволяющие различать движения, сравнивать их между собой. Рассматривая характеристики, мысленно расчленяют по определенным правилам систему движений на составные части; таким образом устанавливают ее состав. В этом заключается с и с т е м н ы й а н а л и з д е й с т в и й.

Система движений как целое не просто сумма частей ее составляющих. Части системы объединены многочисленными взаимосвязями, придающими ей новые, не свойственные ее частям качества (системные свойства). Способ взаимосвязи частей в системе, закономерности их взаимодействия представляют ее структуру. Изучая изменения количественных характеристик, выявляют, как элементы влияют друг на друга, определяют причины целостности системы. В этом проявляется с и с т е м н ы й с и н т е з д е й с т в и й.

Количественные характеристики движения позволяют на высшем уровне системного анализа строить модели системы движений (физические, математические). Используя вычислительную технику, начинают изучать процессы управления движениями, искать оптимальные варианты действий. Синтез систем движений проводится как теоретически (моделирование), так и практически, при реальном построении систем движений — овладении спортивной техникой. Системный анализ и системный синтез действий неразрывно связаны друг с другом, дополняют друг друга в системно-структурном исследовании.

Наиболее широко в современных биомеханических исследованиях применяют ф у н к ц и о н а л ь н ы й метод. С его помощью изучают функциональную зависимость между свойствами и состояниями явлений; их характеризуют определенные параметры, конкретные условия, количественно определенный закон. При этом не ставится задача изучения внутренней структуры явления, исследуется только его функция. Не следует противопоставлять методы системно-структурный и функциональный. По сути дела, логически сначала рассматривают функцию всей системы в целом, не вникая еще в ее построение. Далее изучаются ее внутренние механизмы. Но на каком-то этапе более глубокие особенности вновь оказываются еще не познанными и рассматривается только функция. Выбор подхода и метода определяется в зависимости от постановки и условий задачи исследования.

Следует отличать метод биомеханики как общий принципиальный путь познания сложных систем движений от частных методик биомеханического исследования (методик регистрации характеристик и обработки полученных данных). Далеко не каждое биомеханическое исследование использует полностью метод биомеханики. Более того, большая часть исследований направлена пока еще на изучение частных механизмов или общих показателей двигательных актов. Очень важна



также разработка новых совершенных методик исследования. Однако для практики спорта особенно необходимы целостные модели спортивной техники как предмета обучения и совершенствования технического мастерства. Для решения этой задачи применяется в наиболее полном виде исследование систем движений, раскрытие их внутренней структурной организации.

Закономерности, устанавливаемые при изучении движений, имеют преимущественно статистический (вероятностный) характер. Он обусловлен зависимостью следствий от многих, неопределяемых полностью причин<sup>1</sup>. Такие закономерности свойственны, в частности, живым организмам.

## § 4. Развитие биомеханики спорта

Биомеханика спорта стала бурно развиваться в последние десятилетия — в связи с успехами общей биомеханики. Возникновению же и развитию биомеханики как самостоятельной науки способствовали определенные предпосылки — накопление знаний в области физических и биологических наук, а также научно-технический прогресс, позволивший разрабатывать совершенные сложные комплексные методики изучения движений и по-новому понимать их построение.

### 4.1. Предпосылки развития биомеханики

На возникновение биомеханики решающее влияние оказало развитие м е х а н и к и, особенно новое ее направление со времен Галилея, Ньютона. Однако еще Леонардо да Винчи утверждал, что «наука механика потому столь благородна и полезна более всех прочих наук, что, как оказывается, все живые тела, имеющие способность к движению, действуют по ее законам». Теоретическая механика содержит все основные законы механического движения. В биомеханике стали использовать построенные на основе общей механики данные таких самостоятельных наук, как гидро- и аэродинамика, сопротивление материалов, реология (теория упругости, пластичности и ползучести), теория механизмов и машин и др.

М а т е м а т и ч е с к и е науки, сыгравшие решающую роль в развитии механики, в дальнейшем разрослись в самостоятельные области знаний. Их применение в биомеханике все более расширяется. Речь идет не только о статистической обработке собранного материала, но и о самостоятельных методах исследования (в частности, о математическом моделировании).

Д. Борелли (ученик Галилея), врач, математик, физик, своей книгой «О движении животных» (1679) положил начало биомеханике как отрасли науки. Из б и о л о г и ч е с к и х наук в биомеханике более других использовались данные анатомии и выделившейся из нее (в XVI—XVII вв.) физиологии. Большое влияние на биомеханику затем

<sup>1</sup> Когда следствие однозначно связано с причиной, т. е. одни и те же причины вызывают одни и те же следствия, законы называют в методологии «динамическими». Не следует их смешивать с законами динамики (в механике).





Л. да Винчи

оказали функциональная анатомия и особенно идеи нервизма в современной физиологии.

Так складывались основные направления в развитии биомеханики: механическое, функционально-анатомическое и физиологическое, сосуществующие и поныне.

#### 4.2. Направления развития биомеханики человека

Основные направления в биомеханике возникали одно за другим и далее продолжали развиваться параллельно. В механическом направлении заложены основные идеи об изменении движений под действием приложенных сил и о применении законов механики к движениям животных и человека.

В функционально-анатомическом — идеи о единстве и взаимообусловленности формы и функции в живом организме. В физиологическом — идеи системности функций организма, энергетического обеспечения и идея нервизма, раскрывающая значение процессов управления движениями в двигательной деятельности.

Механическое направление, начатое работами Д. Борелли, развитое В. Брауне и О. Фишером, представлено сейчас кроме СССР в работах многих зарубежных школ (ГДР, ПНР, США, ФРГ и др.). Механический подход к изучению движений человека прежде всего позволяет определить количественную меру двигательных процессов. Измерение механических показателей двигательной функции совершенно необходимо для объяснения физической сущности механических явлений. Это одна из основ биомеханики. С точки зрения физики раскрываются строение и свойства опорно-двигательного аппарата, а также движения человека. В этом отношении механическое направление никогда не потеряет своего значения.

Однако чисто механический подход иногда может создавать почву для неоправданных упрощений. При этом имеется некоторая опасность недооценки качественной специфики физики живого, могут проявляться механистические тенденции объяснения качественно высоких явлений простейшими механическими факторами. Еще встречающаяся иногда неверная трактовка биомеханики как «прикладной к живому» механики (т. е. технической науки) ограничивает возможности познания действительной сложности движений человека и их целенаправленного совершенствования.

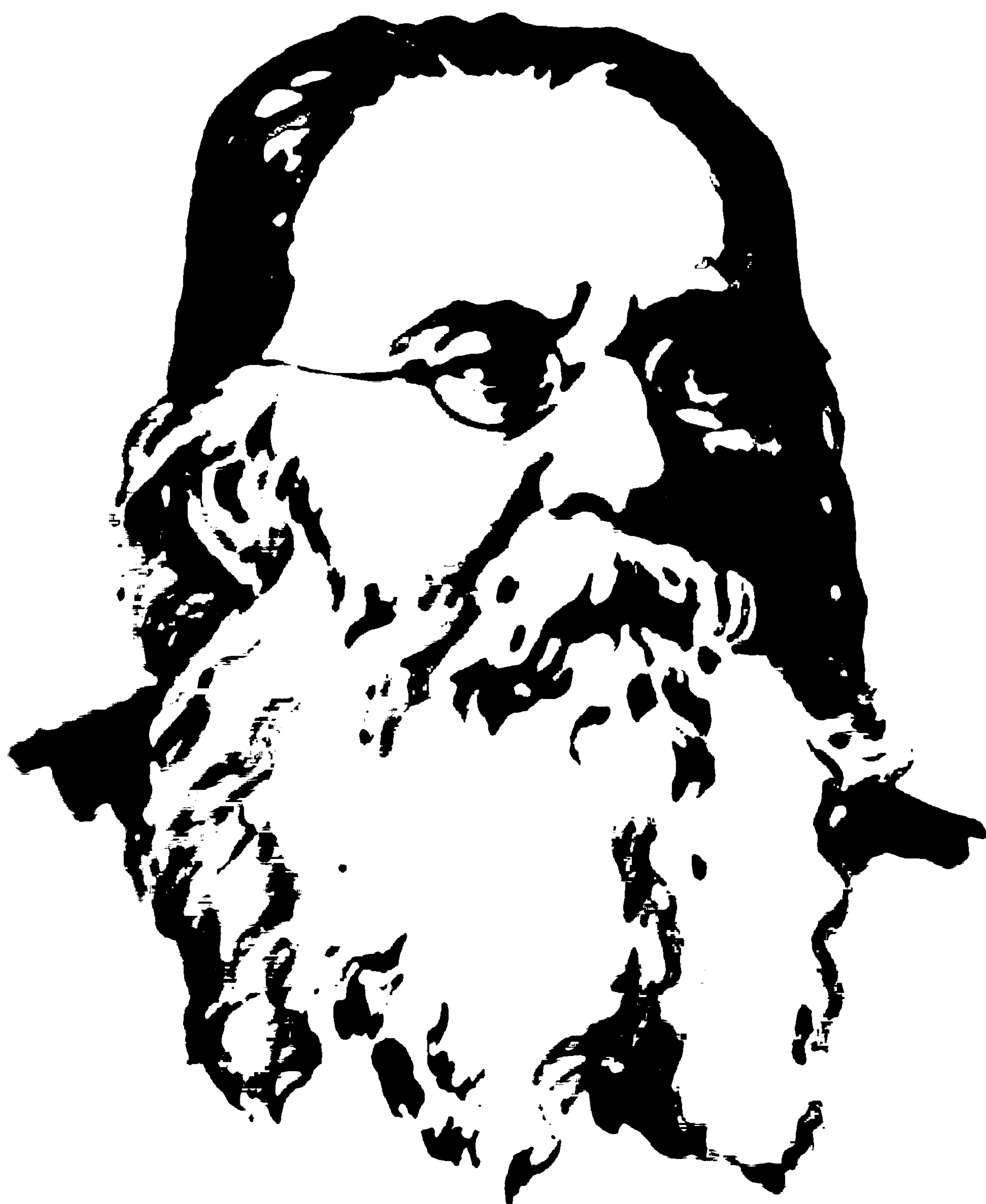
Функционально-анатомическое направление, созданное в нашей стране трудами П. Ф. Лесгафта, И. М. Сеченова, М. Ф. Иваньского и др., характеризуется преимущественно описательным анализом движений в суставах, определением участия мышц в сохранении положений тела и в его движениях. Сейчас все шире применяется регистрация электрической активности мышц (электро-



миография), позволяющая определять время и степень участия мышц в движениях, согласование активности отдельных мышц и их групп. Знание морфологических особенностей биомеханических систем обеспечивает более глубокое и правильное обоснование физической и технической подготовки в физическом воспитании, в частности в спорте.



П. Ф. Лёсгафт



А. А. Ухтомский

Физиологическое направление в отечественной школе биомеханики складывалось под влиянием идей нервизма, учения о высшей нервной деятельности и последних данных нейрофизиологии. Раскрытие в работах И. М. Сеченова, И. П. Павлова, А. А. Ухтомского, П. К. Анохина, Н. А. Бернштейна и других ученых рефлекторной природы двигательных действий и роли механизмов нервной регуляции при взаимодействии организма и среды составляет физиологическую основу изучения движений человека. Обширные исследования регуляторных механизмов центральной нервной системы и нервно-мышечного аппарата дают представление об исключительной сложности и совершенстве процессов управления движениями.

Исследования Н. А. Бернштейна позволили ему установить чрезвычайно важный принцип управления движениями, общепризнанный в настоящее время. Управление движениями осуществляется посредством: а) приспособления импульсов (команд) нервной системы по ходу движения к конкретным условиям его выполнения и б) устранения отклонений от задачи движений (коррекции). Идеи И. М. Сеченова о рефлекторной природе управления движениями путем использования чувствительных сигналов получили развитие в положении Н. А. Бернштейна о кольцевом характере процессов управления. Нейрофизиологические концепции Н. А. Бернштейна послужили основой формирования современной теории биомеханики движений человека.



Системно-структурный подход как методологическая основа изучения движений объединяет и механическое, функционально-анатомическое и физиологическое направления в развитии биомеханики.

#### 4.3. Современный этап развития биомеханики спорта

Биомеханика спорта в нашей стране представляет собою дальнейшее развитие биомеханики физических упражнений, созданной П. Ф. Лесгафтом во второй половине XIX века. Крупный русский анатом, разрабатывавший основы теоретической анатомии, П. Ф. Лесгафт изучал постановку физического воспитания в ряде стран, чтобы создать отечественную систему физического воспитания. В 1877 г. П. Ф. Лесгафт начал читать этот предмет на курсах по физическому воспитанию. В дальнейшем теорию телесных движений продолжали читать и совершенствовать его ученики. В институте физического образования имени П. Ф. Лесгафта, созданном после Октябрьской революции, этот курс входил в предмет «физическое образование», а в 1927 г. был выделен в самостоятельный предмет под названием «теория движения» и в 1931 г. переименован в курс «биомеханика физических упражнений».

И. М. Сеченов



Н. А. Бернштейн

ры биомеханики, разрабатывались программы, издавались пособия и учебники, готовились кадры преподавателей, защищались кандидатские и докторские диссертации. Возникла потребность в систематизации знаний при формировании и совершенствовании учебной дисциплины, что оказало влияние на развитие теории биомеханики не только в спорте, но и в других областях деятельности человека.

С 30-х годов в институтах физической культуры в Москве (Н. А. Бернштейн), Ленинграде (Е. А. Котикова, Е. Г. Котельникова), Тбилиси (Л. В. Чхаидзе), Харькове (Д. Д. Донской) и других городах развернулась научная и учебная работа по биомеханике спорта. После выхода в свет в 1939 г. учебного пособия «Биомеханика физических упражнений» (под ред. Е. А. Котиковой) биомеханическое обоснование спортивной техники стало входить во все учебники по видам спорта.

В свою очередь, развитие спорта в СССР и особенно участие советских спортсменов в олимпийских играх послужили мощным стимулом развития биомеханики спорта. С 1958 г. во всех институтах физической культуры биомеханика стала обязательной учебной дисциплиной, создавались кафе-



Подготовка спортсменов высокой квалификации сейчас немыслима без глубокого биомеханического обоснования спортивной техники и методики ее совершенствования. За последнее десятилетие значительно усилилось педагогическое направление в биомеханике спорта. Широким фронтом ведутся исследования рациональной техники на высшем уровне спортивной квалификации и построения специальных тренажеров в спорте. Сформировался ряд научных направлений в биомеханике спорта в СССР, объединенных общими основами отечественной школы биомеханики, заложенной трудами и идеями Н. А. Бернштейна.

В зарубежных странах за последнее десятилетие резко расширился объем биомеханических исследований с применением ряда оригинальных и высокосоввершенных методик. Систематическое преподавание биомеханики в высших физкультурных учебных заведениях осуществляется в ГДР, ПНР, ЧССР, НРБ, СРР и других странах. Создано Международное общество биомехаников, проводятся симпозиумы и конгрессы по биомеханике, на которых значительное место занимает биомеханика спорта. При президиуме Академии наук СССР создан Научный Совет по проблемам биомеханики с секциями, охватывающими проблемы инженерной, медицинской и спортивной биомеханики.

#### 4.4. Связи биомеханики с другими науками

Биомеханика как одна из биологических наук нового типа начинает сближаться по методам исследования с точными науками. Общая биомеханика как раздел биофизики, включающая изучение внутриорганизменных биосистем, возникла на стыке физико-математических и биологических областей знания. Успехи этих наук, использование идей и подходов кибернетики, а также научно-технический прогресс так или иначе сказываются на развитии биомеханики. В свою очередь, эти науки обогащаются данными биомеханики о физике живого. В биомеханических исследованиях применяются методы этих смежных наук; в то же время в исследованиях их проблем могут применяться биомеханические методы. Здесь налицо двусторонняя связь, обеспечивающая взаимное обогащение теории и методов исследования.

Несколько иначе связана биомеханика с отраслями знания, в которых изучаются конкретные области прикладной двигательной деятельности. Так, развивающаяся инженерная биомеханика смыкается с бионикой, инженерной психологией («человек и машина»), связана с разработкой роботов, манипуляторов и других технических устройств, умножающих возможности человека в труде. Медицинская биомеханика дает обоснование ряду методов протезирования, протезостроения, травматологии, ортопедии, лечебной физической культуры. В космической медицине решаются задачи подготовки космонавтов, обеспечения их работоспособности в условиях невесомости, а



также двигательных действий в космосе. Биомеханика как бы обслуживает эти области деятельности в процессе решения их прикладных задач.

Методы и законы биомеханики спорта используются также для совершенствования теории и методики физического воспитания, врачебного контроля, спортивно-педагогических и других дисциплин, решающих свои конкретные задачи в области физического воспитания.

## Глава II

### БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ДВИЖЕНИЙ

Исследуя движения человека, измеряют количественные показатели механического состояния и двигательной функции его тела и самих движений. Иначе говоря, регистрируют биомеханические характеристики тела (размеры, пропорции, распределение масс, подвижность в суставах и др.) и движений всего тела и его частей (звеньев).

*Биомеханические характеристики — это меры механического состояния биосистемы и его изменения (поведения).*

Механическое состояние и поведение биосистемы отличаются переменным характером. Биомеханические характеристики описывают тело человека как объект механического движения<sup>1</sup>. Для системного анализа (установление состава системы движений) характеристики позволяют различать разные движения. Для системного синтеза (определение структуры движений) биомеханические характеристики дают возможность установить изменения одних движений под воздействием других.

Количественные характеристики измеряются, или вычисляются; они имеют численное значение и выражают связи одной меры с другой (скорость — пример связи пройденного пути со временем, затраченным на него). Изучая количественные характеристики, дают определение (что это такое) и устанавливают способ измерения (чем измеряется). Качественные характеристики описываются обычно словесно, без точной количественной меры (например, напряженно, свободно, плавно, рывком).

#### КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Кинематика движений человека определяет геометрию (пространственную форму) движений и их изменения во времени (характер) без учета масс и действующих сил. Она дает в целом только внешнюю картину движений. Причины же возникновения и изменения движений (их механизм) раскрывает уже динамика.

---

<sup>1</sup> В технических устройствах все технические характеристики обычно называют параметрами. В биомеханике целесообразно рассматривать параметр как характеристику, наиболее существенную в изучаемом процессе и поэтому позволяющую отличать его от множества подобных.



✓ Кинематические характеристики тела человека и его движений — это меры положения и движения человека в пространстве и во времени: пространственные, временные и пространственно-временные.

Кинематические характеристики дают возможность сравнивать размеры тела и его звеньев, а также кинематические особенности движений у разных спортсменов. От учета этих характеристик во многом зависит индивидуализация техники спортсменов, поиск оптимальных именно для них особенностей движений.

## § 5. Системы отсчета расстояния и времени

Движения человека и спортивных снарядов можно измерить только сравнивая их положения с положением выбранного для сравнения тела (тело отсчета), т. е. все движения рассматриваются как относительные.

### 5.1. Системы отсчета расстояния

Система отсчета (расстояния) — условно выбранное твердое тело, по отношению к которому определяют положение других тел в разные моменты времени.

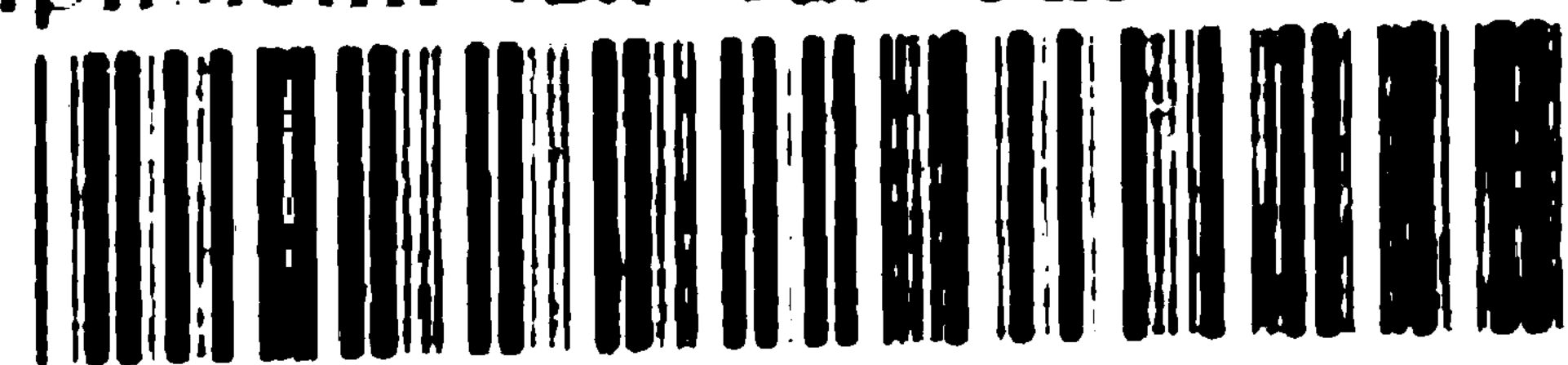
В мире не существует абсолютно неподвижных тел, все тела движутся. Но одни из них движутся так, что изменения их скорости (ускорения) несущественны для решения данной задачи и ими можно пренебречь, — это инерциальные системы отсчета. Такие тела — Земля и тела, связанные с нею неподвижно (дорожка, лыжня, гимнастический снаряд). В подобной системе покоящиеся тела не испытывают действия сил; значит, в ней ни одно движение не начинается без действия силы.

Другие тела движутся с ускорениями, которые существенно влияют на решение данной задачи, — это неинерциальные системы отсчета (скользящая лыжа, раскачивающиеся кольца)<sup>1</sup>. В таких случаях способы расчета и объяснения особенностей движений уже иные, что надо обязательно учитывать.

С телом отсчета связывают начало и направление измерения расстояния и устанавливают единицы отсчета. Для точного определения спортивного результата правила соревнований предусматривают, по какой точке (пункт отсчета) ведется отсчет (по уровню лыжных креплений, по выступающей точке грудной клетки спринтера, по заднему краю следа приземляющегося прыгуна и т. п.).

Движущееся тело рассматривают либо как материальную точку, положение которой определяют, либо на нем выделяют пункты отсчета (определенная точка на теле человека). В случае вращательного движения выбирают линию отсчета. Для описания (задания)

<sup>1</sup> В неинерциальной системе отсчета все законы Ньютона не применимы, так как не описывают полностью наблюдаемых явлений.



E000039521

ЦОБ по ФКиС

РГУФК



движения применяют естественный, векторный и координатный способы.

При естественном способе положение точки — дуговую координату  $s$  — отсчитывают от начала отсчета  $0$ , выбранного на заранее известной траектории (рис. 1, а). При векторном способе положения точки определяют радиус-вектором  $r$  (рис. 1, б), проведенным из центра  $0$  данной системы координат к интересующей точке  $A$ .

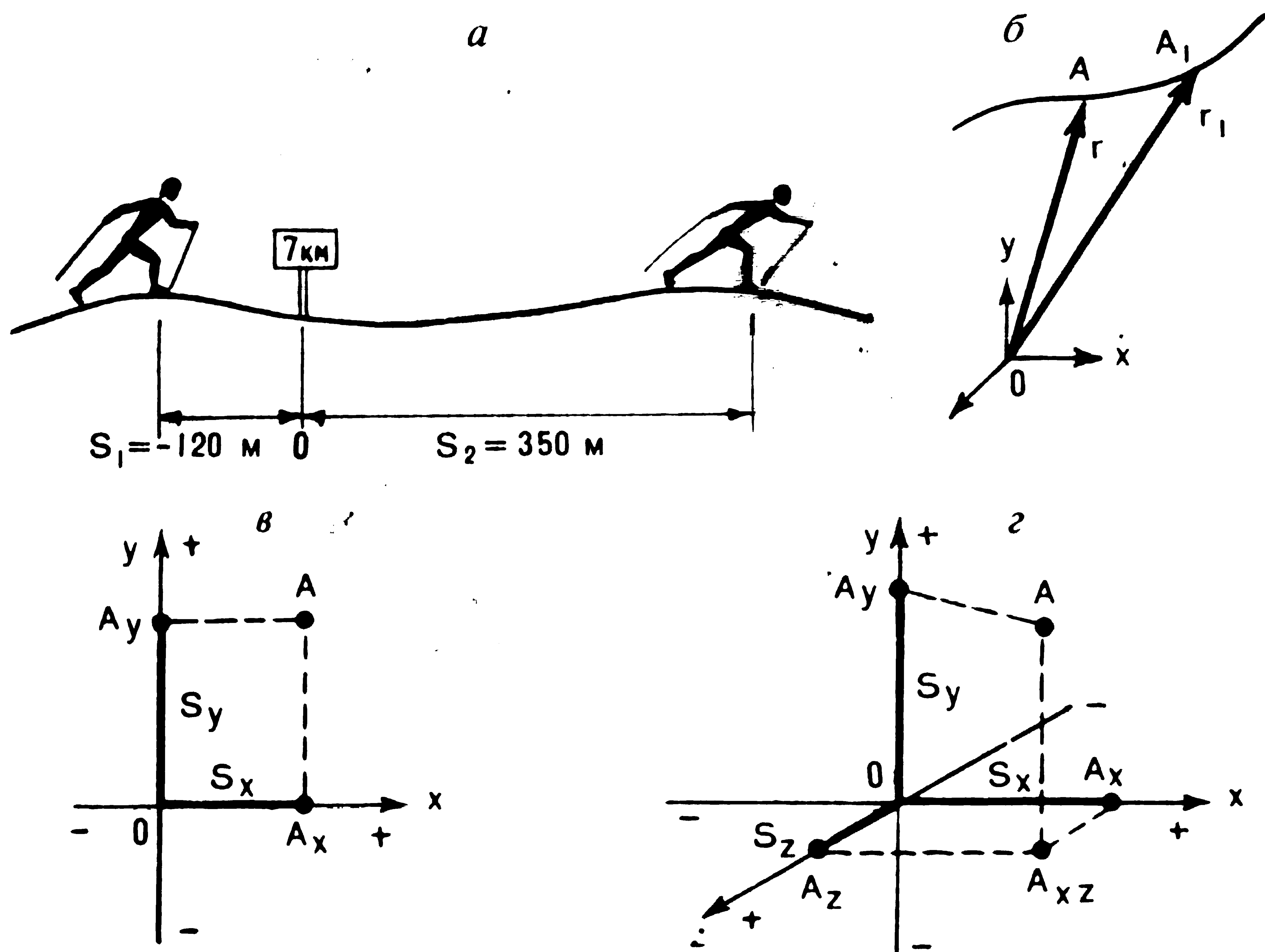


Рис. 1.

Система отсчета расстояний:

а — естественная, б — векторная, в и г — прямоугольных координат: в — на плоскости, г — в пространстве

При способе прямоугольных координат (на плоскости и в пространстве) точку пересечения взаимно перпендикулярных координатных осей  $O$  (начало координат) принимают за начало отсчета (рис. 1, в, г). Чтобы определить положение некоторой точки  $A$  (пункт отсчета) относительно начала отсчета, находят ее проекции ( $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ ) на оси координат. Расстояния от начала координат до проекций этих точек на осях координат (координаты в пространстве:  $OA_x$  — абсцисса,  $OA_y$  — ордината и  $OA_z$  — аппликата) определяют положение точки  $A$  в данной системе отсчета  $O_{xyz}$ . Когда точка  $A$  перемещается в пространстве, то изменяются численные значения координат.

Устанавливают единицы измерения расстояния — линейные и угловые. В международной системе единиц (СИ) принята основная.



линейная единица — метр (м), кратная ей — километр ( $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$ ), дольные — сантиметр ( $1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$ ), миллиметр ( $1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$ ) и др'.

Из угловых единиц применяются: а) градус, минута, секунда — при измерении углов (окружность =  $360^\circ$ , градус =  $60'$ , минута =  $60''$ ); б) оборот — при приближенном подсчете поворотов вокруг оси (оборот =  $360^\circ$ , пол-оборота =  $180^\circ$  и т. д.); в) радиан (для расчетов по формулам) — угол между двумя радиусами круга, вырезающими на окружности дугу, равную по длине радиусу (радиан =  $57^\circ 17' 44,8''$ ;  $1^\circ = 0,01745 \text{ рад.}$ ).

## 5.2. Системы отсчета времени

*В систему отсчета времени входят определенное начало и единицы отсчета.*

За начало отсчета времени принимают: а) полночь — во всех учреждениях, на транспорте, на предприятиях связи и т. п.; б) полночь и полдень — в обычных житейских условиях и в) судейское время («секундомеры на ноль») — в условиях соревнований. В биомеханике за начало отсчета времени обычно принимается либо момент начала всего движения или его части, либо момент начала наблюдения за движением. В течение одного наблюдения пользуются только одной системой отсчета времени.

За единицу отсчета времени принимают секунду (с;  $60 \text{ с} = 1 \text{ мин}$ ;  $60 \text{ мин} = 1 \text{ час}$ ), а также доли секунды — десятая, сотая, тысячная (миллисекунда). Направление течения времени в действительности — от прошлого к будущему. Исследуя движение, можно отсчитывать время и в обратном направлении — к прошлому (за  $0,02 \text{ с}$  до удара;  $0,05 \text{ с}$  до отрыва ноги от опоры и т. д.).

## § 6. Пространственные характеристики

Пространственные характеристики позволяют определять положения, например исходное для движения и конечное (по координатам), и движения (по траекториям).

Движения человека можно изучать рассматривая его тело (в зависимости от поставленных задач) как материальную точку, как одно твердое тело или как систему тел.

Тело человека рассматривают как материальную точку, когда перемещение тела намного больше, чем его размеры (если не исследуют движения частей тела и его вращение).

Тело человека приравнивают к твердому телу, когда можно не принимать во внимание взаимные перемещения его звеньев и деформации тканей, когда важно учитывать лишь его размеры, расположение в пространстве и ориентацию (в частности, при изучении условий равновесия, вращения тела в постоянной позе).

Тело человека изучают как систему тел, когда важны еще

<sup>1</sup> В некоторых странах еще сохраняются (в частности, при измерениях в спорте) иные, менее удобные, единицы:  $1 \text{ ярд} = 3 \text{ фута} = 36 \text{ дюймов}$ ;  $1 \text{ дюйм} = 2,54 \text{ см}$ ;  $1 \text{ фут} = 30,48 \text{ см}$ ;  $1 \text{ ярд} = 91,44 \text{ см}$  ( $1 \text{ м} = 1,094 \text{ ярда} = 3,28 \text{ фута} = 39,4 \text{ дюйма}$ ).



и особенности движений звеньев тела, влияющие на выполнение двигательного действия.

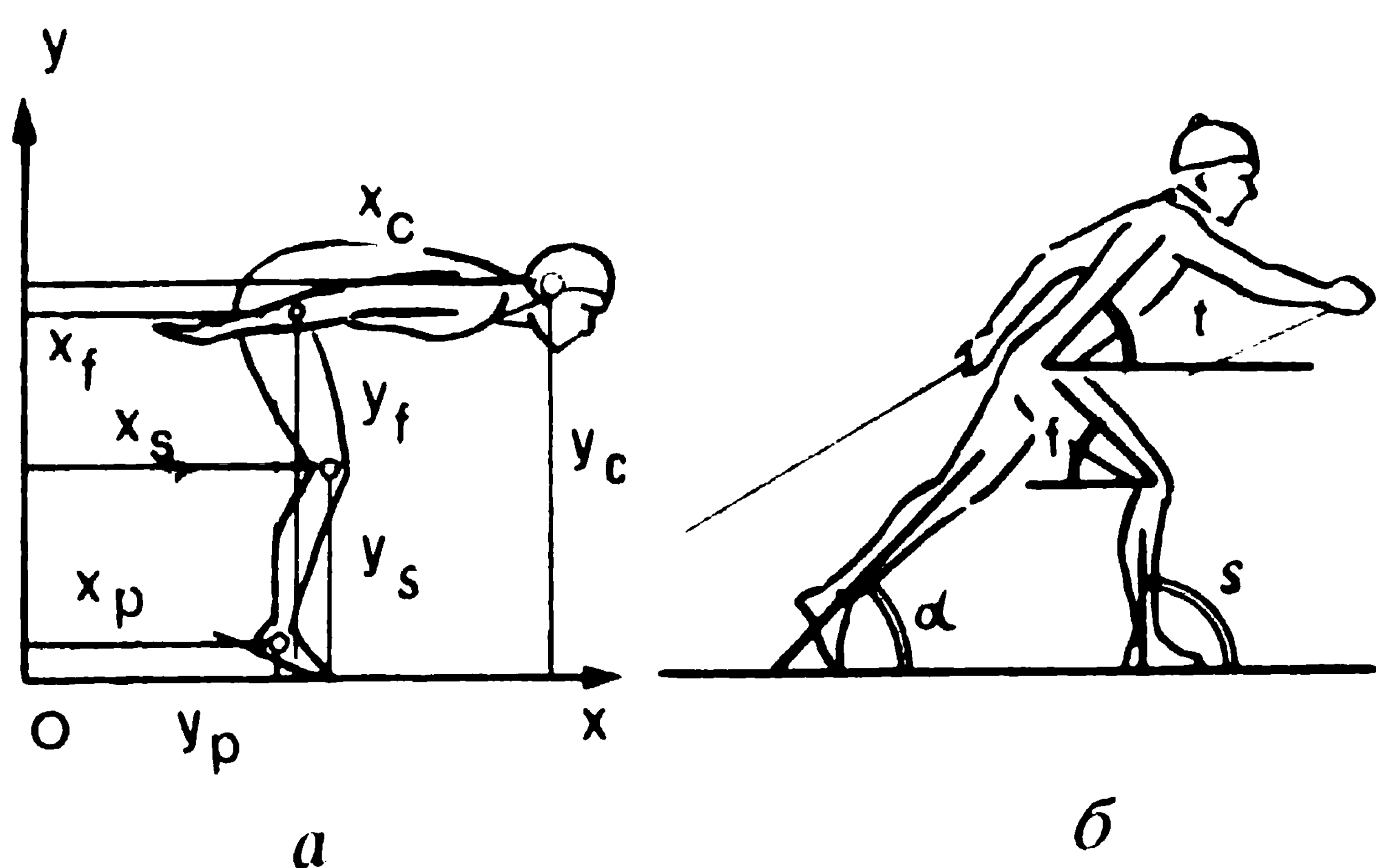
Поэтому, определяя основные пространственные характеристики движений человека (координаты и траектории), заранее уточняют, к какому материальному объекту (точке, телу, системе тел) приравнивают в данном случае тело человека.

### 6.1. Координаты точки, тела и системы тел

*Координаты точки — это пространственная мера местоположения точки относительно системы отсчета. Местоположение точки определяют измеряя, например, ее линейные координаты  $s_x, s_y, s_z$ ; формула размерности<sup>1</sup>:  $[s] = L$ .*

По координатам определяют, где находится изучаемая точка (например, пункт отсчета на теле человека) относительно начала отсчета. Как известно, положение точки на линии определяет одна координата, на плоскости — две, в пространстве — три координаты.

Положение твердого тела в пространстве можно определить по координатам трех его точек (не лежащих на одной прямой). Можно также определить местоположение одной из точек тела (по ее линейным координатам) и ориентацию тела относительно системы отсчета (по угловым координатам).



**Рис. 2.**

Координаты положения тела:  
а — линейные, б — угловые

Положение системы тел (звеньев тела человека), которая может изменять свою конфигурацию (взаимное расположение звеньев), определяют по положению каждого звена в пространстве (рис. 2, а). Удобно использовать при этом угловые координаты (рис. 2, б), например суставные углы, и по ним устанавливать позу тела как взаимное расположение его звеньев. Практически нередко сочетают: 1) определение местоположения какой-либо точки (например, общего центра масс тела или точки опоры); 2) определение позы (взаимного расположения звеньев), 3) определение ориентации тела (по линии отсчета, проведенной в теле).

Изучая движение, нужно определить: 1) исходное положение, из которого движение начинается<sup>2</sup>; 2) конечное положение, в котором движение заканчивается; 3) ряд мгновенных (непрерывно сменяющихся) промежуточных положений, которые принимает тело при движении.

<sup>1</sup> Формула размерности какой-либо величины показывает, как связаны с нею основные единицы международной системы единиц измерения (СИ):  $L$  — длина (м),  $M$  — масса (кг),  $T$  — время (с); показатель степени основной единицы — это размерность производной единицы.

<sup>2</sup> Начальным (в отличие от исходного) считается положение в момент начала данного измерения.



Кинокадры какого-либо упражнения показывают как раз такие положения. В механике описать движение (найти закон движения) — значит определить положение любой точки системы в любой момент времени. Иначе говоря, определить в любой момент времени координаты пунктов или линий отсчета, отмеченных на теле, по которым изучают его движение в пространстве.

## 6.2. Траектория точки

[Траектория точки — это пространственная характеристика движения: геометрическое место положений движущейся точки в рассматриваемой системе отсчета. На траектории определяют ее длину, кривизну и ориентацию в пространстве, а также перемещение точки.]

[Траектория — это непрерывная линия, воображаемый след движущейся точки<sup>1</sup>: она дает пространственный рисунок движения точки (рис. 3). Расстояние по траектории показывает, каков путь точки<sup>2</sup>:  $[l] = L$ .]

[В прямолинейном движении (направление его не изменяется) (рис. 4) путь точки при движении в одну сторону равен расстоянию от начального положения до конечного. В криволинейном движении (направление его изменяется) путь точки равен расстоянию по траектории в направлении движения от начального положения до конечного.]

[Кривизна траектории ( $k$ ) показывает, какова форма движения точки в пространстве. Чтобы определить кривизну траектории, измеряют радиус кривизны ( $R$ ). Кривизна — величина, обратная радиусу:

$$k = \frac{1}{R}; [k] = L^{-1}.$$

Если траектория является дугой окружности, то ее радиус кривизны постоянный. С увеличением кривизны ее радиус уменьшается, и наоборот, с уменьшением — увеличивается.

О р и е н т а ц и я траектории в пространстве при одной и той же ее форме может быть разная. Ориентацию для прямолинейной траектории определяют по координатам точек начального и конечного положений; для криволинейной траектории — по координатам этих двух точек и третьей точки, не лежащей с ними на одной прямой линии.

[П е р е м е щ е н и е точки показывает, в каком направлении и на какое расстояние сместилась точка. Перемещение (линейное) находят по разности координат точки в моменты начала и окончания движения (в одной и той же системе отсчета расстояния):

$$\Delta \bar{s} = \bar{s}_{\text{кон}} - \bar{s}_{\text{нач}}; [\Delta s] = L.$$

Перемещение определяет размах и направление движения. В случае, когда в результате движения точка вернулась в исходное положение,

<sup>1</sup> След при движении оставляет точка, поэтому нужно говорить о траектории точки, а не движения.

<sup>2</sup> Поскольку путь — это длина траектории, не следует говорить «длина пути».

<sup>3</sup> Знак  $\Delta$  (греческая буква «дельта») обозначает приращение какой-либо величины.



перемещение, естественно, равно нулю. Перемещение — это не само движение, а лишь его окончательный результат, расстояние по прямой и ее направление от начального до конечного положения.

Рассматривают элементарное перемещение ( $d\vec{s}$ ) точки — из данного положения в положение, бесконечно близкое к нему. Геометрическая сумма элементарных перемещений равна конечному перемещению из начального положения в конечное. На криволинейной траектории элементарное перемещение считают равным пути.

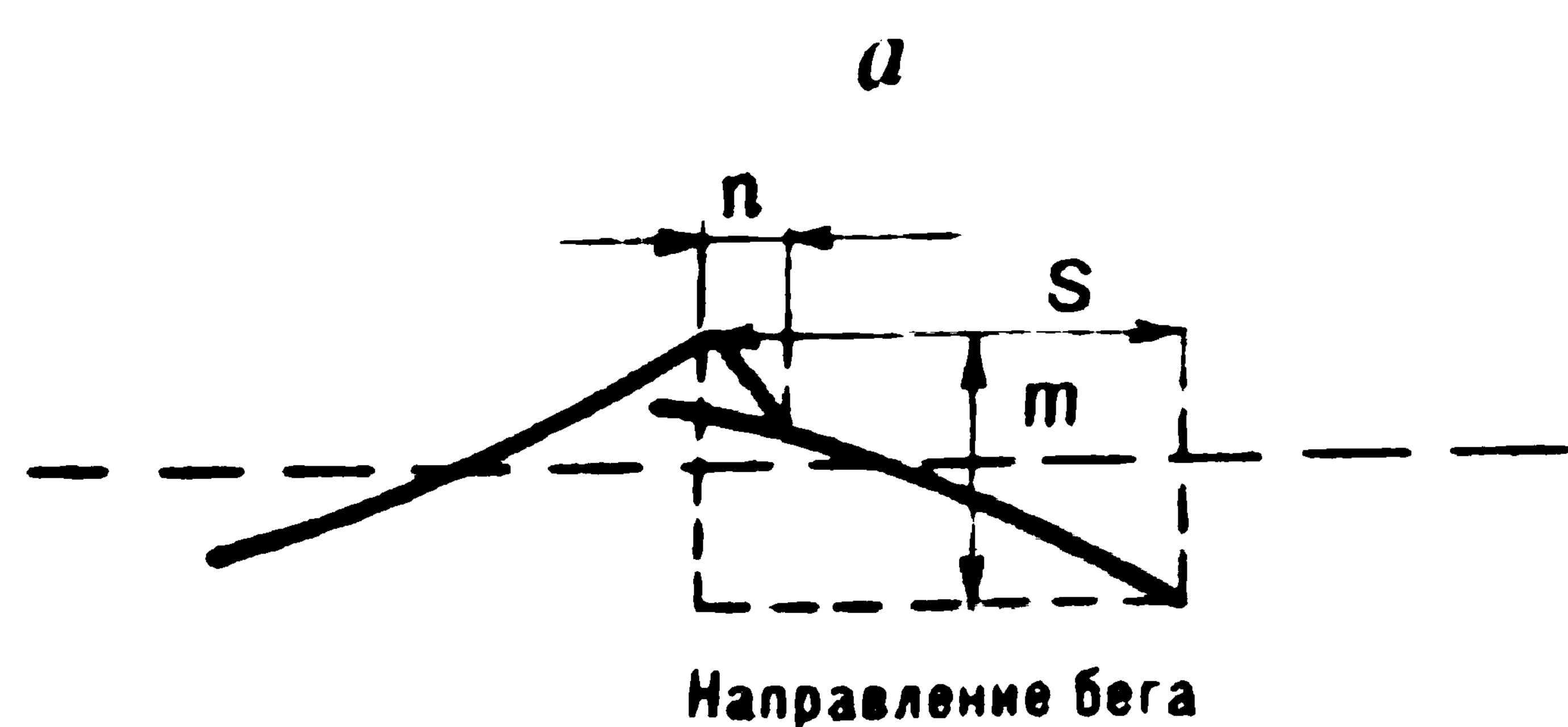
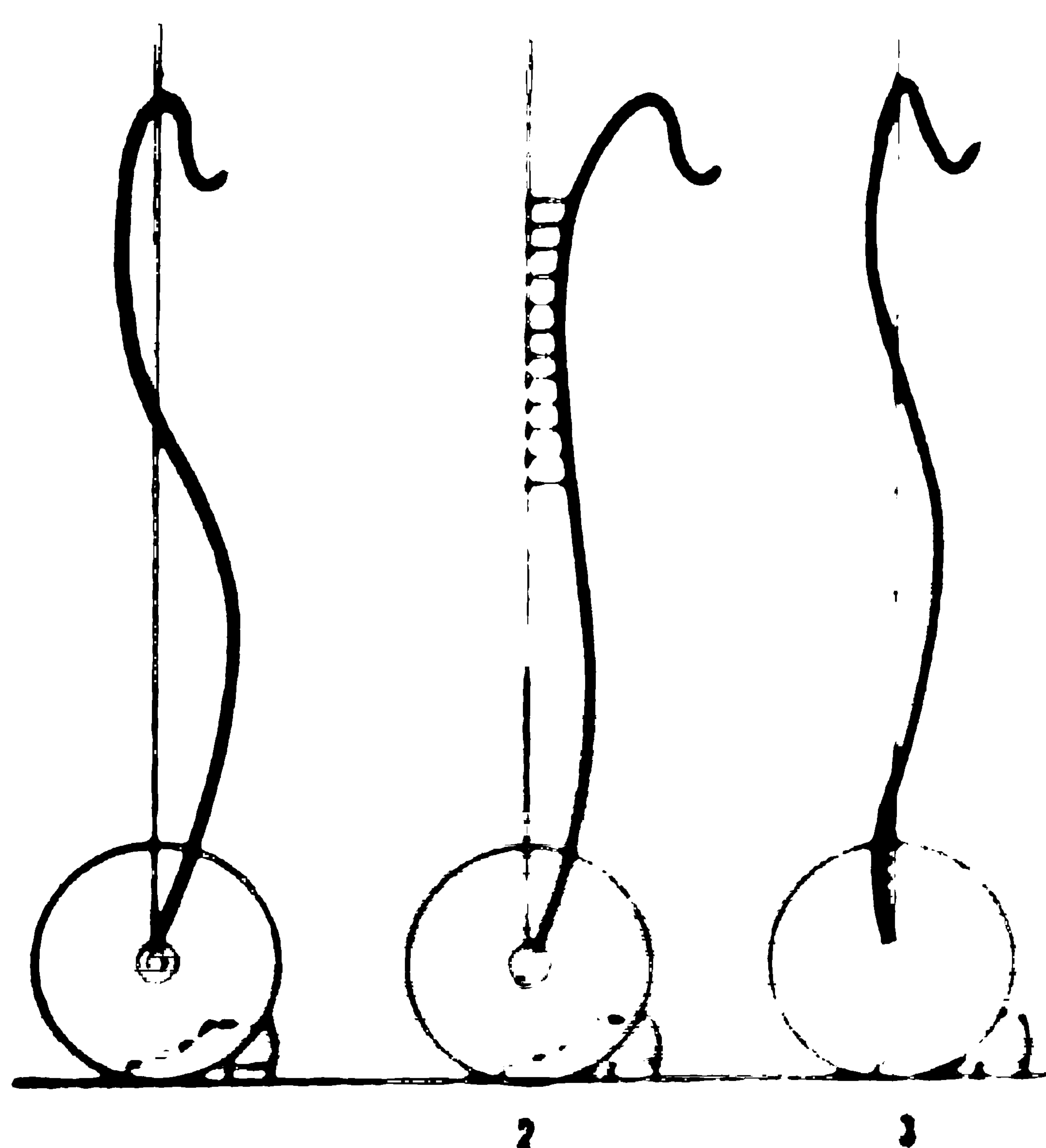


Рис. 3.

Траектории:

*a* — штанги (1 — оптимальная, 2 и 3 — нерацональные; заштрихованы нецелесообразные отклонения, по М. С. Хлыстову); *b* — коньков на льду:  $s$  — длина скользящего шага,  $m$  — ширина скользящего шага,  $n$  — длина выпада (по А. М. Докторовичу)

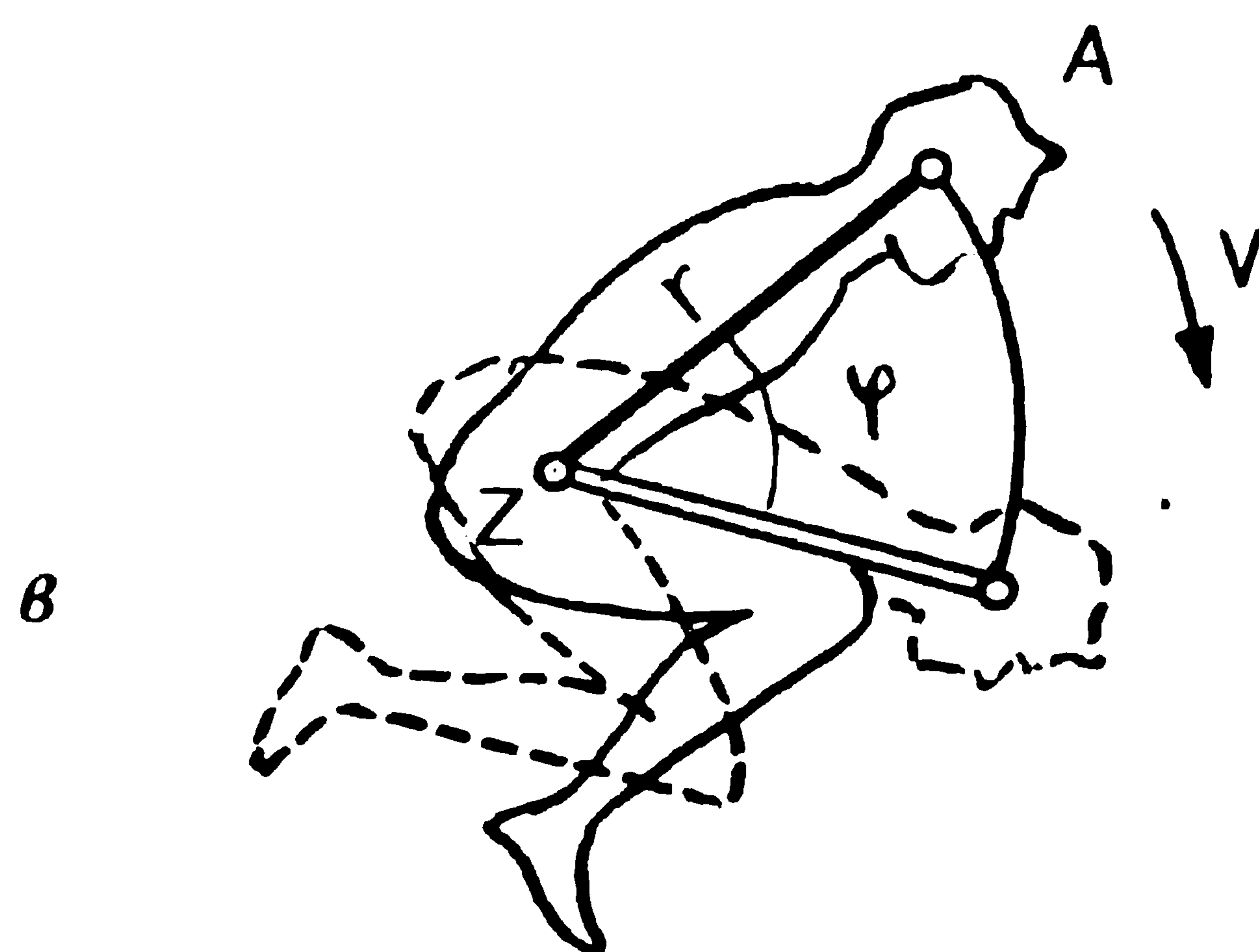
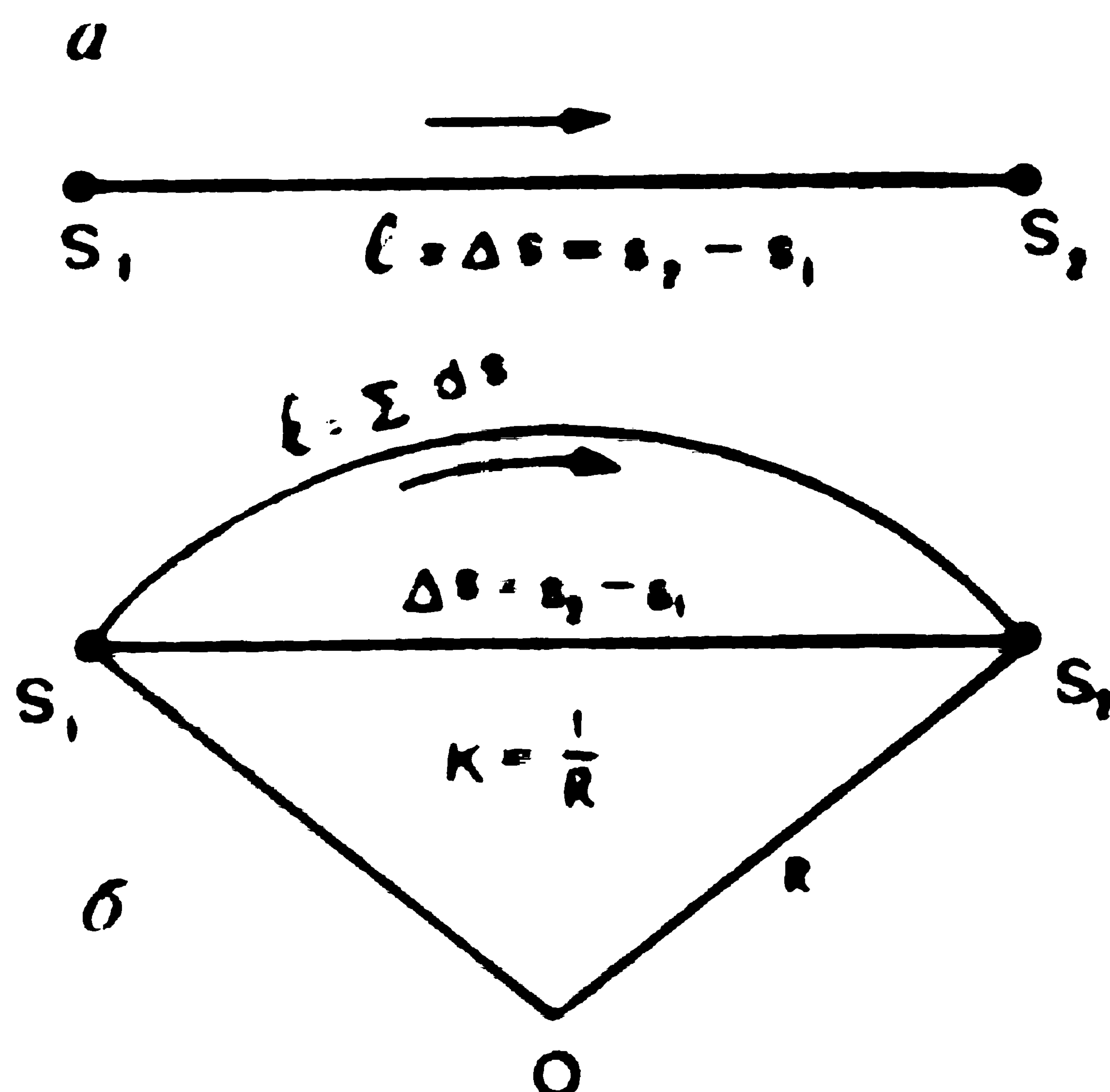


Рис. 4.

Элементы траектории:

$l$  — путь,  $\Delta s$  — перемещение,  $R$  — радиус кривизны (*a* — в прямолинейном движении, *b* — в криволинейном),  $\omega$  — угловое перемещение тела:  $r$  — радиус точки,  $\varphi$  — угол поворота

Перемещение тела при поступательном и вращательном движении измеряется различно. Перемещение тела **линейное** (в поступательном его движении) можно определить по линейному перемещению любой его точки. Ведь в поступательном движении прямая, соединяющая две любые точки тела, перемещаясь (прямолинейно либо криволинейно), остается параллельной своему начальному положению. Все точки тела движутся одинаково: по подобным траекториям, с одинаковыми скоростями и ускорениями. Достаточно из координаты



конечного положения любой точки тела вычесть соответствующую координату ее начального положения, чтобы определить перемещение всего тела.

Перемещение тела у г л о в о е (во вращательном его движении) определяют по углу поворота. При вращательном движении тела в нем имеется линия, все точки которой остаются во время всего движения неподвижными (лежат на оси). Остальные же точки тела движутся по дугам окружностей, центры которых лежат на этой неподвижной линии — оси вращения (рис. 4, в). Перемещение тела (угловое) находят по разности угловых координат условной линии отсчета (в одной и той же системе отсчета расстояния):  $\Delta\varphi = \varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}$ ;  $[\varphi] = L^\circ$ , где  $\varphi$  — угловая координата. Если из любой точки тела опустить перпендикуляр  $r$  на ось вращения  $z-z$  (см. рис. 4, в), то при вращении тела эта линия (радиус вращения) повернется в плоскости поворота вокруг оси на угол  $\varphi$  (угол поворота).

Рассматривают также э л е м е н т а р н о е у г л о в о е п е р е м е щ е н и е ( $d\varphi$ ) тела из данного углового положения в положение, бесконечно близкое к нему.

Любое движение тела в пространстве можно представить как геометрическую сумму его поступательного и вращательного (относительно любого полюса, в частности его центра масс) движений<sup>1</sup>.

Перемещение с и с т е м ы т е л (биомеханической системы), изменяющей свою конфигурацию, определить намного сложнее. В самых упрощенных случаях движение ее рассматривают как движение одной материальной точки — обычно общего центра масс (ОЦМ). Тогда можно проследить за перемещением всего тела человека «в целом», оценить в известной мере общий результат его двигательной деятельности. Но останется неизвестным, в результате каких именно движений достигнуто перемещение ОЦМ. Иногда перемещение тела человека представляют в виде перемещения условно связанной с ним линии (линия отсчета).

Изучение движений звеньев тела человека позволяет более подробно рассмотреть перемещение его тела. В некоторых случаях несколько подвижных частей (например, все кости стопы, кисти или предплечья, даже туловища) рассматриваются как одно звено — тогда уже можно в общих чертах уловить особенности движений, хотя взаимное движение многих звеньев не учитывается и их деформациями пренебрегают. Однако получить полную картину перемещений всех основных элементов тела (включая и внутренние органы, и жидкие ткани) при существующих методах исследования пока еще невозможно. В любом научном исследовании приходится прибегать к более или менее значительному упрощению.

В машинах, характеризующихся определенностью движений, имеется вполне определенный закон движений. В биомеханических системах, характеризующихся неопределенностью движений в сочленениях, стараются добиваться требуемой определенности, но возможности

<sup>1</sup> Совершенно недопустимо говорить «поступательное движение точки», а также «вращательное движение точки», так как эти выражения не имеют физического смысла: одна точка не совершает ни поступательного, ни вращательного движения.



найти закон движения всех звеньев тела в целом очень невелики. Они несколько больше в видах спорта, где техническое мастерство проявляется (и в значительной мере) именно в точном воспроизведении заранее заданных, детально определенных движений (например, в гимнастике, фигурном катании на коньках).

## § 7. Временные характеристики

Временные характеристики раскрывают движение во времени: когда оно началось и закончилось (момент времени), как долго длилось (длительность движения), как часто выполнялось движение (темп), как они были построены во времени (ритм). Вместе с пространственно-временными характеристиками они определяют характер движений человека.

Определяя, где была точка в пространстве, необходимо определить, когда она там была.

### 7.1. Момент времени

*Момент времени — это временная мера положения точки тела и системы. Момент времени ( $t$ ) определяют промежутком времени до него от начала отсчета:  $[t] = T$ .*

Момент времени определяют не только для начала и окончания движения, но и для других важных мгновенных положений. В первую очередь это моменты существенного изменения движения: заканчивается одна часть (фаза) движения и начинается следующая (например, отрыв стопы от опоры в беге — это момент окончания фазы отталкивания и начала фазы полета). По моментам времени определяют длительность движения.

### 7.2. Длительность движения

*Длительность движения — это его временная мера, которая измеряется разностью моментов времени окончания и начала движения:*

$$\Delta t = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}} ; [\Delta t] = T.$$

Длительность движения представляет собой промежуток времени между двумя ограничивающими его моментами времени. Сами моменты (как границы между двумя смежными промежутками времени) длительности не имеют. Ясно, что, измеряя длительность, пользуются одной и той же системой отсчета времени. Узнав расстояние, пройденное точкой, и длительность ее движения, можно определить ее скорость. Зная длительность движений, определяют также их темп и ритм.

### 7.3. Темп движений

В повторных движениях одинаковой длительности темп характеризует их протекание во времени.



Темп движений<sup>1</sup> — это временная мера их повторности. Он измеряется количеством движений, повторяющихся в единицу времени (частота движений):

$$N = \frac{1}{\Delta t}; [N] = T^{-1}.$$

Темп — величина, обратная длительности движений. Чем больше длительность каждого движения, тем меньше темп, и наоборот. В повторяющихся (циклических) движениях темп может служить показателем совершенства техники. Например, частота движений у лыжников, пловцов, гребцов высокой квалификации (при более высокой скорости передвижения) больше, чем у менее подготовленных. Известно, что с утомлением темп движений изменяется: он может повышаться (например, при укорочении шагов в беге) или понижаться (например, при неспособности поддерживать его в лыжном ходе).

#### 7.4. Ритм движений

Ритм движений (временной) — это временная мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению длительности частей движения:

$$\Delta t_{12} : \Delta t_{23} : \Delta t_{34} \dots^2$$

Ритм движений характеризует, например, отношение времени опоры к времени полета в беге или времени амортизации (сгибания колена) к времени отталкивания (выпрямления ноги) при опоре. Примером соотношения длительности и частей движения может служить ритм скользящего шага на лыжах (соотношение длительности пяти фаз шага). С изменением темпа шагов изменяется и их ритм (рис. 5). Кроме временных можно определить еще пространственные показатели ритма (например, отношение длины выпада в шаге на лыжах к длине скольжения).

Чтобы определить ритм (временной), выделяют фазы, которые различаются по задаче движения, по его направлению, скорости, ускорению и другим характеристикам. Ритм отражает прилагаемые усилия, зависит от их величины, времени приложения и других особенностей движений. Поэтому по ритму движений можно в известной мере судить об их совершенстве. В ритме особенно важны акценты — большие усилия и ускорения — их размещение во времени. При овладении упражнениями иногда лучше сначала задать ритм, чем подробно описывать детали движений; это помогает быстрее понять особенности изучаемого упражнения, его построение во времени.

В каждом движении есть различающиеся части, например подготовительные и исполнительные (основные) движения, разгон и торможение. Значит, ритм можно определить в каждом упражнении. Так называемые «неритмичные» движения — это не вообще лишенные рит-

<sup>1</sup> В обиходной речи термин «темп» означает быстроту (например, темпы развития). В биомеханике, как и в спорте, ему придается иной смысл — значение частоты движений. Единица частоты — герц [Гц] = 1 с<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> Ритм — величина безразмерная.



ма движения, а движения с отклонениями от заданного рационального ритма. Иначе говоря, неритмичные движения — это движения без определенного постоянного ритма или с неправильным, нерациональным ритмом.

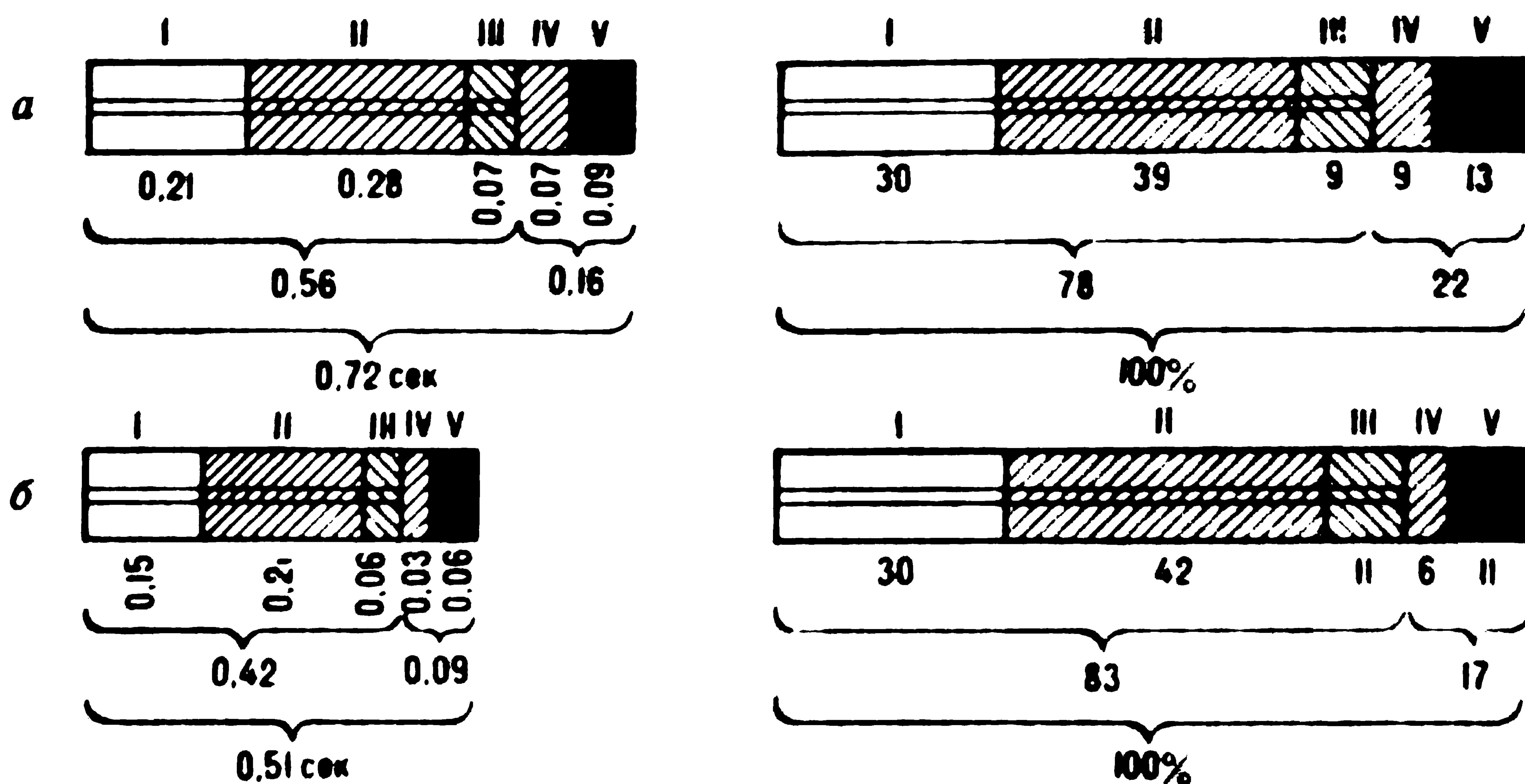


Рис. 5.

Взаимосвязь изменений темпа и ритма шагов:

а — у квалифицированных лыжников, б — у сильнейших лыжников мира (слева в секундах, справа в процентном отношении); фазы I—III — скольжения, IV—V — стояние лыжи (по Х. Х. Гроссу)

## § 8. Пространственно-временные характеристики

По пространственно-временным характеристикам определяют, как изменяются положения и движения человека во времени, как быстро человек изменяет свои положения (скорость) и движения (ускорение).

### 8.1. Скорость точки и тела

*Скорость точки<sup>1</sup> — это пространственно-временная мера движения точки (быстроты изменения ее положения). Скорость равна первой производной по времени от расстояния в рассматриваемой системе отсчета:*

$$\bar{v} = \frac{d\bar{s}}{dt} = \dot{s}; [v] = L^1 \cdot T^{-1}.$$

Скорость точки определяется по изменению ее координат во времени. Скорость — величина векторная, она характеризует быстроту движения и его направление. Так как скорость движений человека чаще всего не постоянная, а переменная (движение неравномерное и криволинейное), для разбора упражнений определяют мгновенные скорости.

<sup>1</sup> Надо всегда указывать, скорость какого объекта определяется (например, скорость бегуна), а не «скорость движения».



**М г н о в е н н а я с к о р о с т ь** — это скорость в данный момент времени или в данной точке траектории, как бы скорость равномерного движения на очень малом участке траектории около данной точки траектории. Мгновенную скорость можно себе представить как такую, которую сохранило бы тело с того момента, когда все силы перестали на него действовать. **С р е д н я я ж е с к о р о с т ь** — это такая скорость, с которой точка в равномерном движении за то же время прошла бы весь рассматриваемый путь. Средняя скорость позволяет сравнивать неравномерные движения.

Скорость точки (линейная) в прямолинейном движении направлена по траектории, в криволинейном — по касательной к траектории в каждой рассматриваемой ее точке.

**С к о р о с т ь т е л а** определяют по скорости его точек. При поступательном движении тела линейные скорости всех его точек одинаковы по величине и направлению. При вращательном движении определяют угловую скорость тела как меру быстроты изменения его углового положения. Она равна по величине первой производной по времени от углового перемещения:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}.$$

Чем больше расстояние от точки тела до оси вращения (т. е. чем больше радиус), тем больше линейная скорость точки. Скорость вращательного движения твердого тела (в радианах) равна отношению линейной скорости каждой точки к ее радиусу (при постоянной оси вращения). Угловая скорость ( $\omega$ ) для всех точек тела, кроме лежащих на оси, одинакова:

$$\frac{v_1}{r_1} = \frac{v_2}{r_2} = \frac{v_3}{r_3} \dots \frac{v_n}{r_n} = \omega; \quad [\omega] = L^0 T^{-1}.$$

Значит, линейная скорость любой точки вращающегося тела, не лежащей на оси, равна его угловой скорости, умноженной на радиус вращения этой точки (расстояние от нее до оси вращения). Скорости сложного движения твердого тела можно определить по линейной скорости любого полюса и угловой скорости вращения тела относительно этого полюса (например, вокруг оси, проходящей через центр масс — ЦМ).

Скорость с и с т е м ы т е л, изменяющей свою конфигурацию, нельзя определить таким же образом, как угловую скорость твердого тела. В этом случае определяют линейную скорость ОЦМ системы. Часто определяют линейные скорости точек звеньев тела (проекций осей суставов на поверхность тела). Кроме того, при изменениях позы определяют угловые скорости звеньев тела относительно суставных осей; эти скорости обычно изменяются по ходу движения. Для биомеханического обоснования техники нужно в каждом случае выбрать, какие скорости каких звеньев и точек следует определить.



## 8.2. Ускорение точки и тела

*Ускорение точки — это пространственно-временная мера изменения движения точки (быстрота изменения движения — по величине и направлению скорости). Ускорение точки равно первой производной по времени от скорости этой точки в рассматриваемой системе отсчета:*

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d^2\bar{s}}{dt^2} = \ddot{\bar{s}}; [a] = LT^{-2}.$$

У с к о р е н и е т о ч к и определяется по изменению ее скорости во времени. Ускорение — величина векторная, характеризующая быстроту изменения скорости по ее величине и направлению в данный момент (мгновенное ускорение)<sup>1</sup>.

Вектор ускорения можно разложить на составляющие: а) касательное ускорение, направленное вдоль касательной к траектории в данной точке:  $\bar{a}_\tau = \frac{d\bar{v}}{dt}$  или  $\bar{a}_\tau = \frac{d^2\bar{s}}{dt^2}$ , б) нормальное ускорение, направленное перпендикулярно к вектору скорости внутрь кривизны:  $\bar{a}_n = \frac{\bar{v}^2}{R}$ , где  $R$  — радиус кривизны в этой же точке. Касательное ускорение будет положительным, когда скорость точки увеличивается, и отрицательным, когда она уменьшается. Если касательное ускорение равно нулю, то скорость по величине постоянная. Если нормальное ускорение равно нулю, то направление скорости постоянное,

Угловое ускорение тела определяется как мера быстроты изменения его угловой скорости. Оно равно первой производной по времени от угловой скорости тела:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \ddot{\varphi}.$$

Различают у с к о р е н и е т е л а линейное (в поступательном движении) и угловое (во вращательном движении). Отношение линейного ускорения каждой точки вращающегося тела к ее радиусу равно угловому ускорению ( $\varepsilon$ ) в радианах в секунду в квадрате. Оно одинаково для всех точек вращающегося тела, кроме лежащих на оси:

$$\frac{a_1}{r_1} = \frac{a_2}{r_2} = \frac{a_3}{r_3} \dots \frac{a_n}{r_n} = \varepsilon; [\varepsilon] = L^0T^{-2}.$$

Значит, линейное ускорение любой точки вращающегося тела равно по величине его угловому ускорению, умноженному на радиус вращения этой точки:

$$a = \varepsilon \cdot r.$$

У с к о р е н и е с и с т е м ы т е л, изменяющей свою конфигурацию, определяется еще сложнее, чем скорость. Ускорение служит хорошим показателем качества приложенных усилий (рис. 6).

<sup>1</sup> Среднее ускорение за время движения, особенно в тех случаях, когда оно меняет знак, обычно не определяют, поскольку оно не характеризует достаточно подробности (детали) движения.



## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Все движения человека и движимых им тел под действием сил изменяются по величине и направлению скорости. Чтобы раскрыть механизм движений (причины их возникновения и ход их изменений), исследуют динамические характеристики. К ним относятся инерционные характеристики (особенности тела человека и движимых им тел), силовые (особенности взаимодействия звеньев тела и других тел) и энергетические (состояния и изменения работоспособности биомеханических систем).

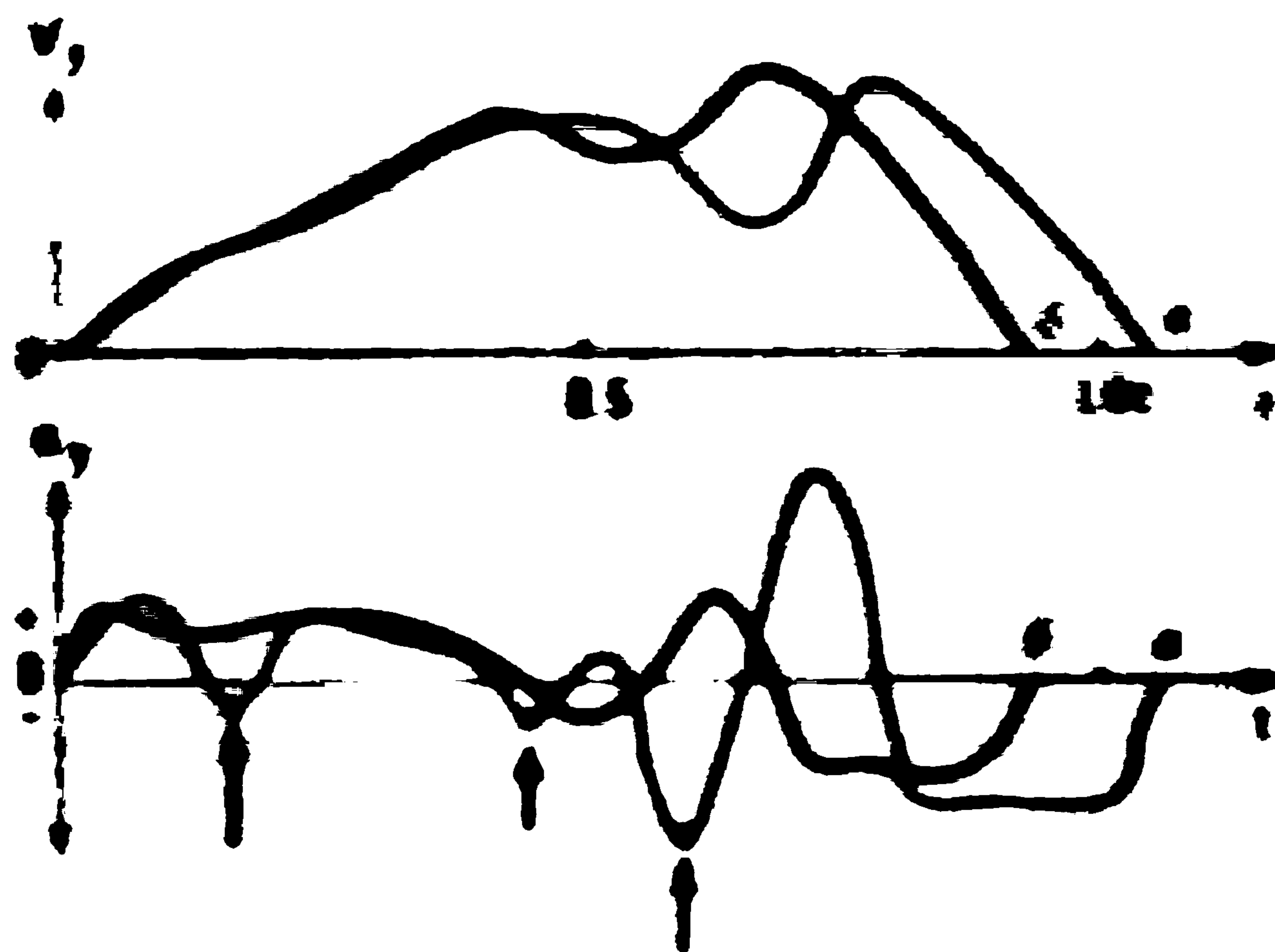


Рис. 6.

Вертикальные скорость ( $v_y$ ) и ускорение ( $a_y$ ) штанги при выполнении тгн и а — безчастотное, б — частотное. Стрелками указаны западание скорости (по И. П. Желобу)

### § 9. Инерционные характеристики

Свойство инертности тел раскрывается в первом законе Ньютона: «Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока внешние приложенные силы не изменят это состояние». Иначе говоря, всякое тело сохраняет скорость, пока ее не изменят силы.

#### 9.1. Понятие об инертности

Любые тела сохраняют скорость неизменной при отсутствии внешних воздействий одинаково. Это свойство, не имеющее меры, и предлагается называть инерцией<sup>1</sup>. Разные тела изменяют скорость под действием сил по-разному. Это их свойство, следовательно, имеет меру: его называют инертностью. Именно инертность и представляет интерес, когда надо оценить, как изменяется скорость.

*Инертность — свойство физических тел, проявляющееся в постепенном изменении скорости с течением времени под действием сил.*

Сохранение скорости неизменной (движение как бы по инерции) в реальных условиях возможно только тогда, когда все внешние силы, приложенные к телу, взаимно уравновешены. В остальных случаях неуравновешенные внешние силы изменяют скорость тела в соответствии с мерой его инертности.

#### 9.2. Масса тела

Масса тела — это мера инертности тела при поступательном движении. Она измеряется отношением величины приложенной силы к вызываемому ею ускорению:

$$m = \frac{\bar{F}}{\bar{a}}; [m] = M,$$

где  $m$  — масса,  $\bar{F}$  — сила,  $\bar{a}$  — ускорение.

<sup>1</sup> Ю. А. Селезнев. Основы механики. М., Наука, 1974. Инерция (лат.) — косность, бездеятельность



Измерение массы тела здесь основано на втором законе Ньютона: «Изменение движения прямо пропорционально извне действующей силе и происходит по тому направлению, по которому эта сила приложена».

Масса тела зависит от количества вещества тела и характеризует его свойство — как именно приложенная сила может изменить его движение. Одна и та же сила вызовет большее ускорение у тела с меньшей массой, чем у тела с большей массой<sup>1</sup>.

При исследовании движений часто бывает необходимо учитывать не только величину массы, но и, как говорится, ее распределение в теле<sup>2</sup>. На распределение материальных точек в теле указывает местоположение центра масс тела.

В абсолютно твердом теле имеются три точки, положения которых совпадают: центр масс, центр инерции и центр тяжести. Однако это совершенно различные понятия. В ЦМ пересекаются направления сил, любая из которых вызывает поступательное движение тела. Материальные точки, имеющие массы, расположены равномерно относительно линии действия таких сил, и поэтому вращательного движения не возникает. Следует учитывать, что если материальные точки тела, обладающие массами, отдалять от этой линии в противоположные стороны на равные расстояния, то положение центра масс от этого не изменится. Следовательно, понятие «центр масс» не полностью отражает распределение материальных точек в теле. Понятия о центре инерции (как точке приложения равнодействующей всех фиктивных сил инерции) и центре тяжести (как точке приложения равнодействующей всех сил тяжести) будут рассмотрены позже.

### 9.3. Момент инерции тела

*Момент инерции тела — это мера инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела относительно оси равен сумме произведений масс всех материальных точек тела на квадраты их расстояний от данной оси:*

$$I = \sum m_i r_i^2; [I] = ML^2.$$

В деформирующейся системе тел, когда ее части отдаляются от оси вращения, момент инерции системы увеличивается. Инерционное сопротивление увеличивается с удалением частей тела от оси вращения пропорционально квадрату расстояния. Поскольку материальные точки в теле расположены на разных расстояниях от оси вращения, для ряда задач удобно вводить понятие «радиус инерции».

*Радиус инерции тела — это сравнительная мера инертности данного тела относительно его разных осей. Он измеряется корнем квадратным из отношения момента инерции (относительно данной оси) к массе тела:*

<sup>1</sup> Масса, измеренная таким образом, называется инертной, измеренная путем взвешивания — тяжелой. Они количественно равны одна другой и отличаются только способами их определения.

<sup>2</sup> Так как масса тела не само вещество, а его свойство, то, строго говоря, она не перемещается и не распределяется; перемещаются тела, обладающие массой; распределяются частицы (материальные точки) тела, обладающие массой.



$$R_{ин} = \sqrt{\frac{I}{m}}; [R_{ин}] = L.$$

Найдя опытным путем момент инерции тела, можно рассчитать радиус инерции ( $R_{ин}$ ), величина которого характеризует распределение материальных точек в теле относительно данной оси. Если мысленно расположить все материальные точки тела на одинаковых расстояниях от оси, получится полый цилиндр. Радиус такого цилиндра, момент инерции которого равен моменту инерции изучаемого тела, равен радиусу инерции. Он позволяет сравнивать различные распределения масс тела относительно разных осей вращения. Это удобно, когда рассматривают инертность одного тела относительно разных осей.

Знать о моменте инерции очень важно для понимания движения, хотя точное количественное определение этой величины в конкретных случаях нередко затруднено.

## § 10. Силовые характеристики

Известно, что движение тела может происходить как под действием приложенной к нему движущей силы, так и без движущей силы (по инерции), когда приложена только тормозящая сила. Движущие силы приложены не всегда; без тормозящих же сил движения не бывает.

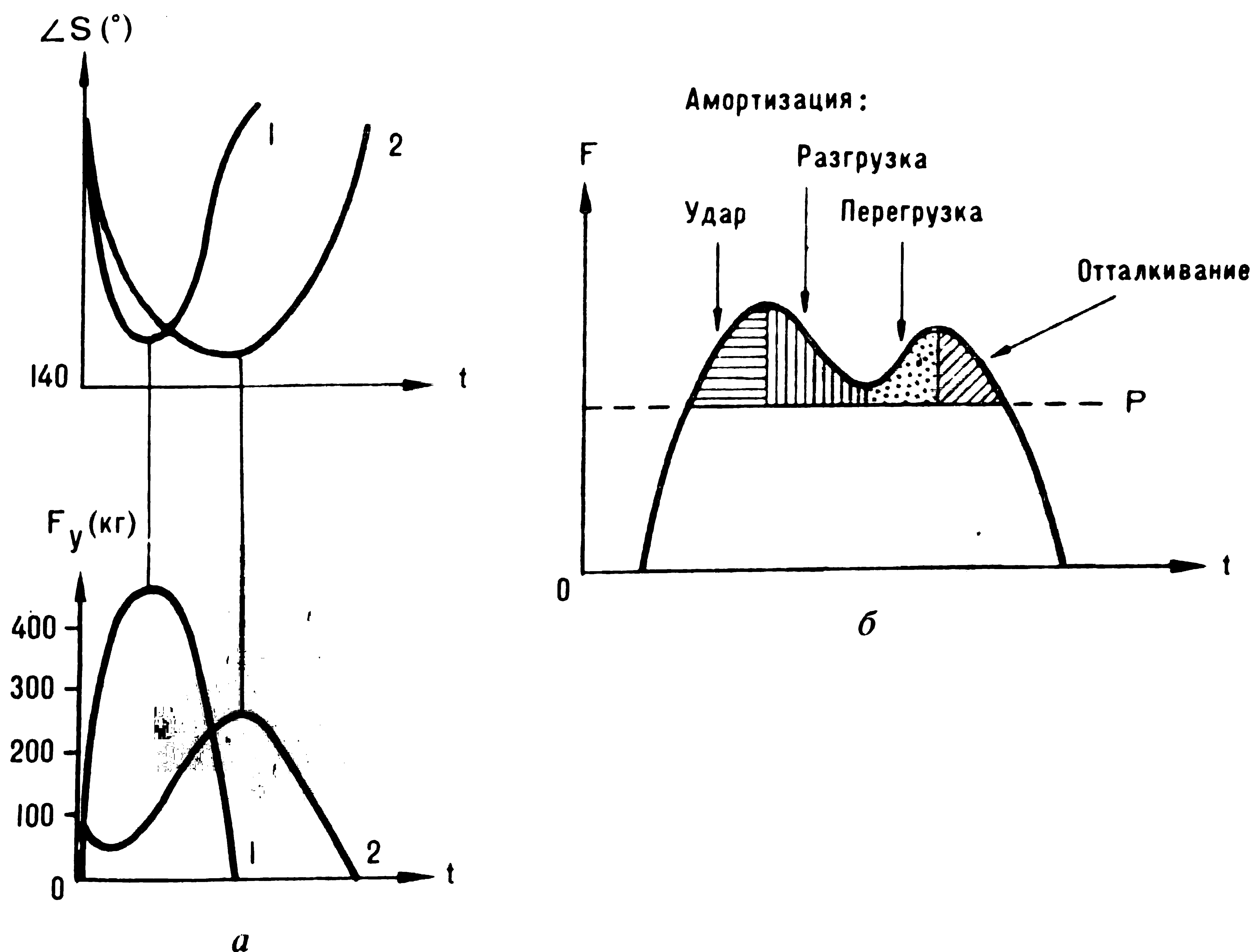


Рис. 7.

Усилия, приложенные к опоре:

а — при отталкивании после прыжка в глубину (вверху — углы коленного сустава (по Ю. В. Верхошанскому); б — при прыжке вверх с места с отягощением.



Изменение движений происходит под действием сил. В этом и заключен смысл второй части первого закона Ньютона об изменении движений под действием приложенных сил. Иначе говоря, сила не причина движения, а причина изменения движения; силовые характеристики раскрывают связь действия силы с изменением движений (рис. 7).

### 10.1. Сила и момент силы

*Сила — это мера механического действия одного тела на другое. Численно она определяется произведением массы тела на его ускорение, вызванное данной силой:*

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}; [F] = MLT^{-2}.$$

Измерение силы, так же как и массы, основано на втором законе Ньютона. Сила, приложенная к данному телу, вызывает его ускорение. Источником силы служит другое тело; следовательно, взаимодействуют два тела. Таким образом, имеется «действие» второго тела на первое и «противодействие» первого тела, приложенное ко второму. Поскольку действие и противодействие приложены к разным телам, их нельзя складывать, заменять равнодействующей. По третьему закону Ньютона — «Действию всегда существует равное и противоположно направленное противодействие» — действия двух тел друг на друга всегда равны и противоположны по направлению. Надо отчетливо понимать, что этот закон справедлив только для инерциальных систем отсчета. При применении неинерциальных систем отсчета помимо взаимодействия тел учитывают еще «фиктивные» силы инерции (см. гл. IV).

Хотя чаще всего говорят про силу и результат ее действия, это применимо только к простейшему поступательному движению тела. В движениях человека как системы тел, где все движения частей тела вращательные, изменение вращательного движения зависит не от силы, а от момента силы.

*Момент силы — это мера вращающего действия силы на тело; он определяется произведением модуля силы на ее плечо<sup>1</sup>:*

$$M, \vec{F} = \vec{F} \cdot d; [M] = ML^2T^{-2}.$$

Момент силы считают положительным, когда сила вызывает поворот тела против часовой стрелки, и отрицательным при повороте тела по часовой стрелке (со стороны наблюдателя).

Момент силы — величина векторная: сила проявляет свое вращающее действие, когда она приложена на ее плече (рис. 8, а). Иначе говоря, линия действия силы не должна проходить через ось вращения. Если сила лежит не в плоскости, перпендикулярной к оси, находят составляющую силы, лежащую в этой плоскости (рис. 8, б); она и вызывает момент силы относительно оси. Остальные составляющие на него не влияют. Понятно, что сила, совпадающая с осью или параллельная ей, также не имеет плеча относительно оси, а следовательно, нет и ее момента.

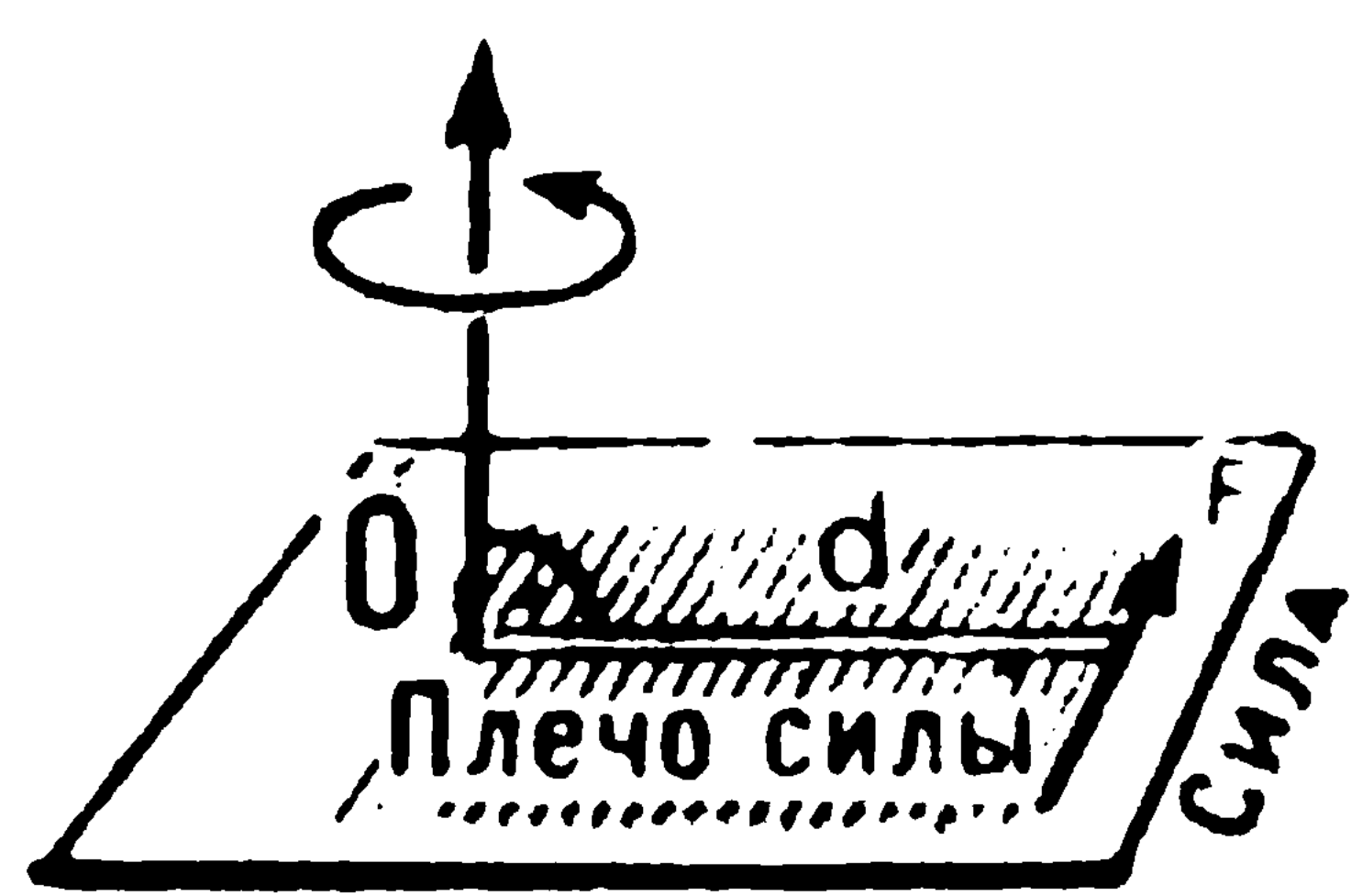
<sup>1</sup> Плечо силы — кратчайшее расстояние от центра момента, относительно которого берется момент силы, до линии действия силы.



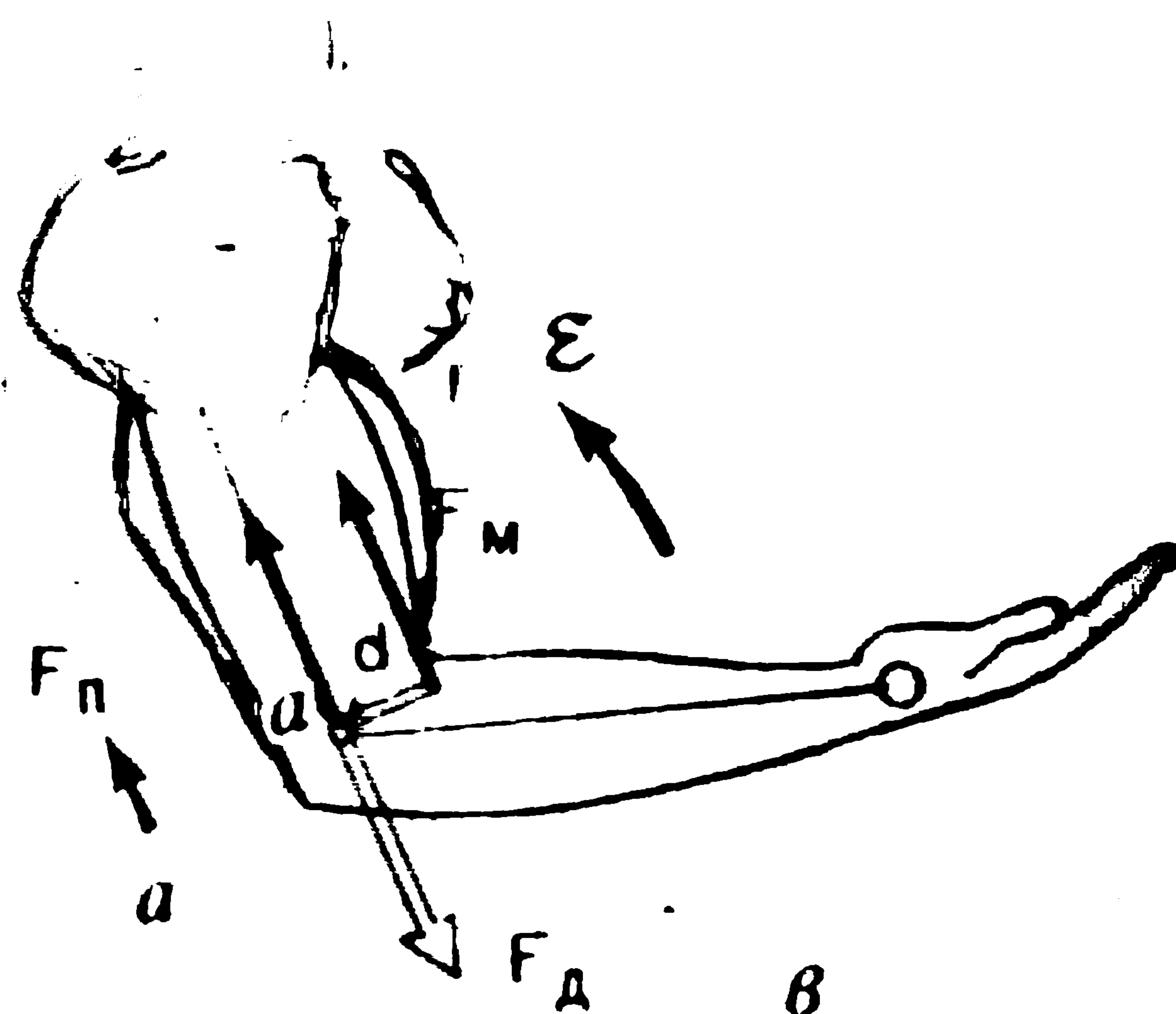
Тяга каждой мышцы образует момент силы относительно оси соответствующего сустава. Силы, извне приложенные к телу во время движения, обычно не проходят через его центр масс, так что возникают моменты сил относительно ЦМ. Силу, не проходящую через точку (например, через ЦМ), в твердом теле можно привести к этой точке.

Вектор момента силы

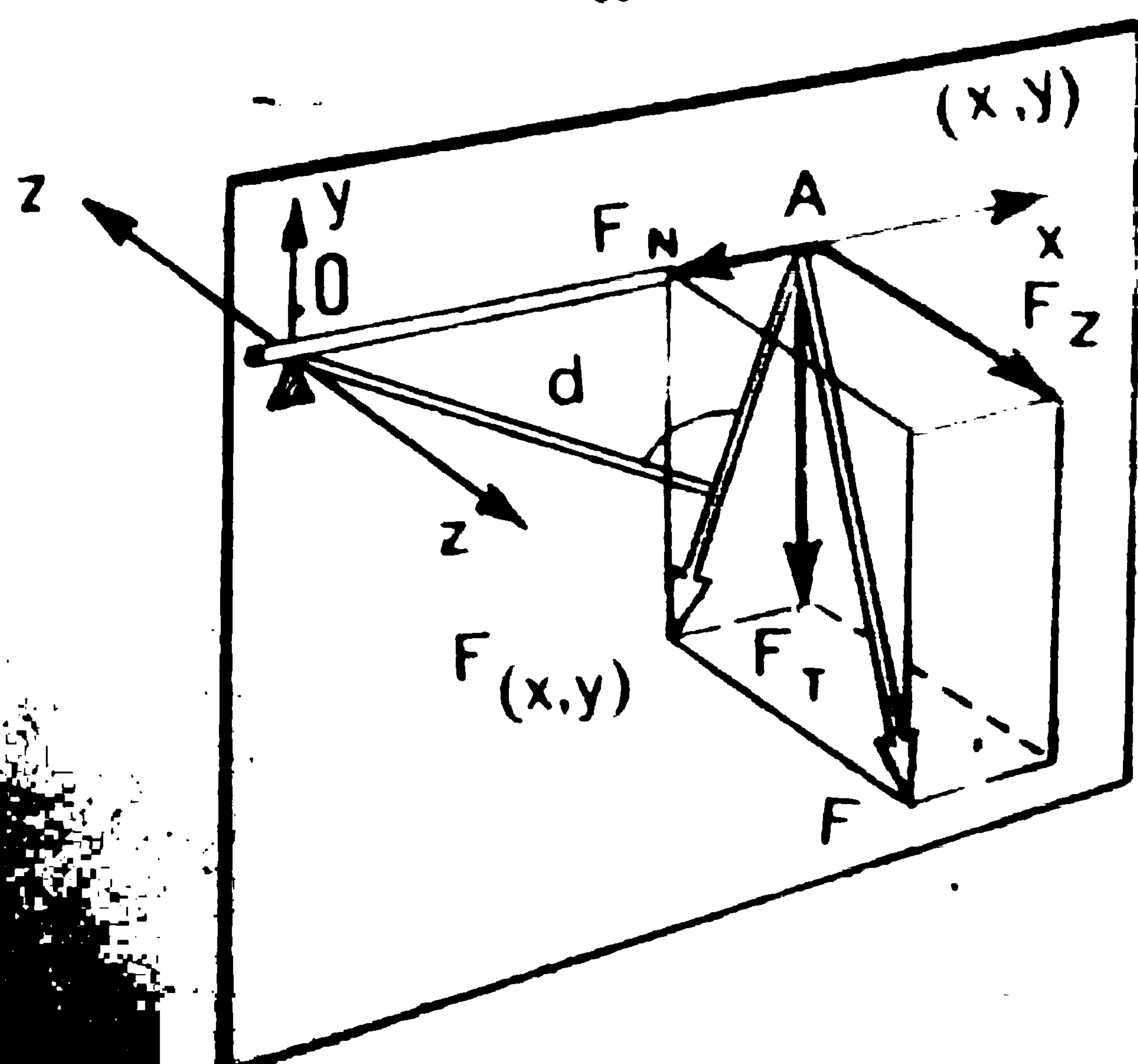
$$M_0(F) = Fd$$



a

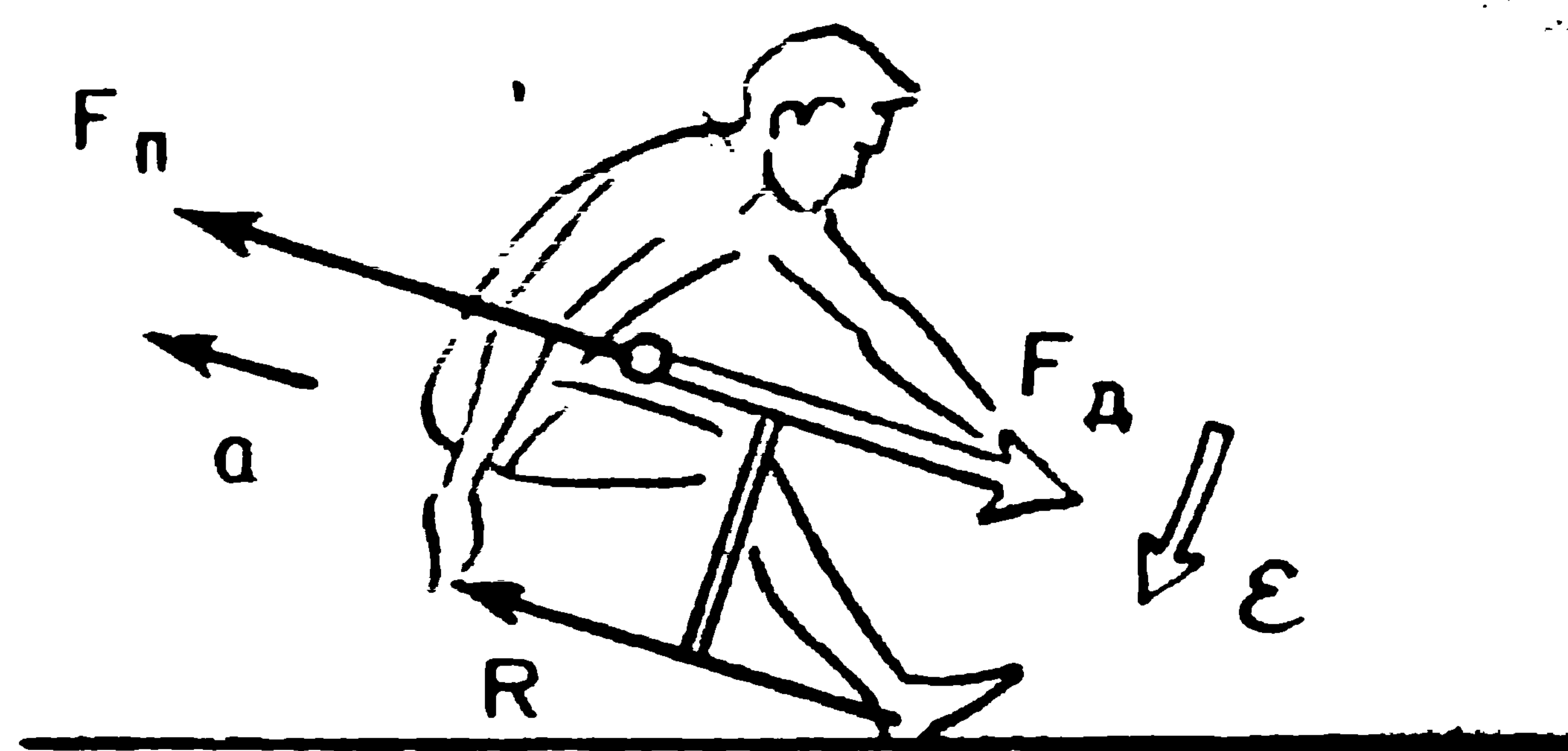


b



$$M_z(F) = F_T \theta A = F(x,y)$$

c



d

Рис. 8.

Момент силы:

a — в плоскости, б — в пространстве, в и г — приведение силы (условное) к точке: в — при сгибании предплечья, г — при перекате прыгуна в длину

Тогда видно, что такая сила вызывает не только угловое, но и линейное ускорение тела.

Так, если к оси локтевого сустава (см. рис. 8, б) приложить силу, одинаковую по величине и направлению с силой тяги сгибателя предплечья ( $\bar{F}_n$ ) и, чтобы не изменилась действительная картина сил, добавить к этой же точке равную по величине и противоположно направленную силу ( $\bar{F}_d$ ), то сила тяги мышцы ( $\bar{F}_n$ ) и добавленная сила ( $\bar{F}_d$ ), образуют пару сил, сгибающую предплечье в локтевом суставе, а сила «перенесенная» ( $\bar{F}_n$ ) будет толкать локтевой сустав вверх.

Для такого исследования в материальной системе условно полагают, что она отвердела. Тогда ее рассматривают как твердое тело. После такого приведения силы реакции опоры ( $\bar{R}$ ) к ЦМ прыгуна в длину в момент приземления (рис. 8, г) добавленная сила ( $\bar{F}_d$ ) и опорная



реакция ( $\bar{R}$ ) образуют момент пары сил, направленной в сторону опрокидывания прыгуна вперед (перекат), а «перенесенная» сила ( $\bar{F}_0$ ) замедлит продвижение ЦМ вперед и вниз.

Определение силы или момента силы, если известна масса или момент инерции, позволяет узнать только ускорение, т. е. как быстро изменяется скорость. Надо еще узнать, насколько именно изменится скорость. Для этого должно быть известно, как долго была приложена сила. Иначе говоря, следует определить импульс силы (или ее момента).

## 10.2. Импульс силы и импульс момента силы

*Импульс силы — это мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени (в поступательном движении). За конечный промежуток времени он равен определенному интегралу от элементарного импульса силы, где пределами интегрирования являются моменты начала и конца промежутка времени действия силы:*

$$\bar{S} = \int_{t_0}^t \bar{F} dt; [S] = MLT^{-1}.$$

*Элементарный импульс  $d\bar{s}$  равен произведению силы на элементарный промежуток времени ( $dt$ ) ее действия.*

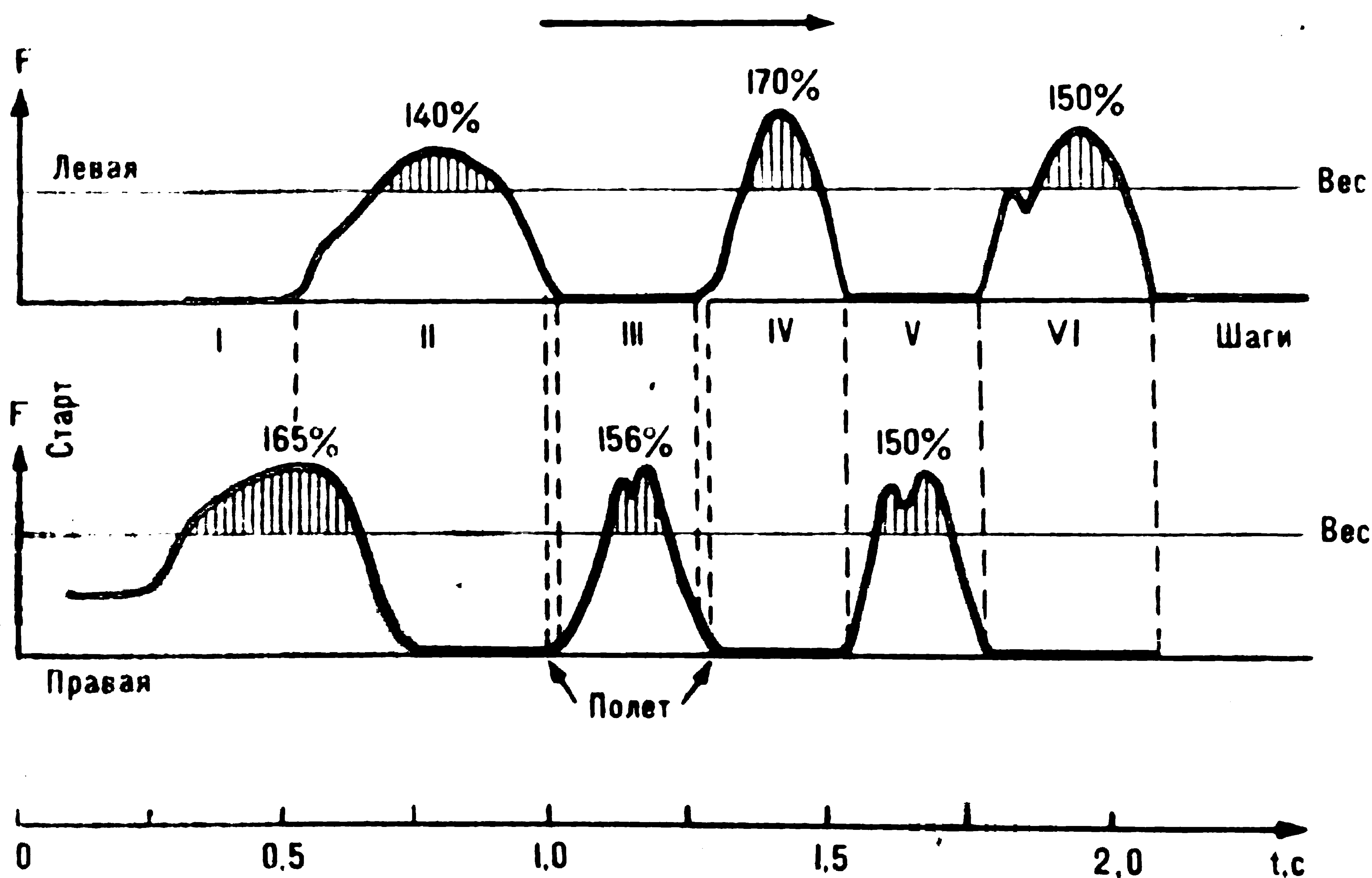


Рис. 9.

Импульсы усилий, приложенных ко льду в стартовом разбеге на коньках; заштрихованы импульсы динамических усилий (по Р. Д. Грачу)

В случае одновременного действия нескольких сил сумма их импульсов равна импульсу их равнодействующей за то же время. Любая сила, приложенная даже в доли секунды (например, при отталкивании коньком от льда), имеет импульс (рис. 9). Именно



импульс силы определяет изменение скорости; самой же силой обусловлено только ускорение как быстрота изменения скорости.

Во вращательном движении момент силы, действуя в течение определенного времени, создает импульс момента силы.

*Импульс момента силы — это мера воздействия момента силы относительно данной оси за данный промежуток времени (во вращательном движении).*

За конечный промежуток времени он равен определенному интегралу от элементарного импульса момента силы; пределами интеграла являются моменты начала и конца данного промежутка времени:

$$\bar{S}_z = \int_{t_0}^t M_z(\bar{F}) dt; [S_z] = ML^2T^{-1}.$$

Вследствие импульса как силы, так и момента силы возникают изменения движения, зависящие от инерционных свойств тела и проявляющиеся в изменении скорости (количество движения, кинетический момент).

*Количество движения<sup>1</sup> — это мера поступательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Количество движения тела измеряется произведением массы тела на его скорость:*

$$\bar{K} = m\bar{v}; [K] = MLT^{-1}.$$

Количество движения тела может быть определено, например, по тому, как долго оно движется до остановки под действием измеренной тормозящей силы. Соответствующее изменение количества движения происходит под действием импульса силы:

$$\int_{t_0}^t \bar{F} dt = \Delta m\bar{v}.$$

*Кинетический момент<sup>2</sup> — это мера вращательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Кинетический момент равен произведению момента инерции относительно оси вращения на угловую скорость тела:*

$$\bar{K}_z^2 = I\bar{\omega}; [K_z] = ML^2T^{-1}.$$

Таким же образом под действием импульса момента силы происходит соответствующее изменение кинетического момента (момент количества движения):

$$\int_{t_0}^t M_z(\bar{F}) dt = \Delta I\bar{\omega}.$$

Таким образом, к ранее рассмотренным кинематическим мерам изменения движения (скорости и ускорению) добавляются и динамические меры изменения движения (количество движения, кинетический момент). Совместно с мерами действия силы они отражают взаимо-

<sup>1</sup> В современной литературе по механике нередко количество движения именуют «импульс тела», что можно в практике спутать с импульсом силы.

<sup>2</sup> В учебниках механики кинетический момент часто обозначают  $L$ .



связь сил и движения. Изучение их помогает понять физические основы движений, необходимые для изучения специфических особенностей двигательных действий человека.

## § 11. Энергетические характеристики

При движениях человека силы, приложенные к его телу на некотором пути, совершают работу и изменяют положение и скорость звеньев тела, что изменяет его энергию. Работа характеризует процесс, при котором меняется энергия системы. Энергия же характеризует состояние системы, изменяющееся вследствие работы. Энергетические характеристики показывают, как меняются виды энергии при движениях и протекает сам процесс изменения энергии.

### 11.1. Работа силы и ее мощность

*Работа силы — это мера действия силы на тело при некотором его перемещении под действием этой силы.*

Работа переменной силы в поступательном движении на конечном пути равна определенному интегралу от элементарной работы силы на пути ее приложения:

$$A = \int_0^s F_v ds; [A] = ML^2T,$$

где  $F_v$  — проекция силы  $\vec{F}$  на направление скорости  $v$ . Так как силы в движениях человека обычно переменны, а движения точек тела криволинейны, работа силы представляет собой сумму элементарных работ.

Если сила направлена в сторону движения (или под острым углом к его направлению), то она совершает положительную работу, увеличивая энергию движущегося тела. Когда же сила направлена навстречу движению (или под тупым углом к его направлению), то работа силы отрицательная и энергия движущегося тела уменьшается.

Работа силы тяжести тела равна произведению его веса на разность высот ( $h$ ) начального и конечного положений:

$$A_{тяж} = P \cdot h.$$

При опускании тела работа силы тяжести положительная, при поднятии — отрицательная.

Работа силы упругости при удлинении упругого тела ( $\Delta l$ ) с коэффициентом жесткости тела ( $C$ ) имеет выражение:

$$A_{упр} = - \frac{C \Delta l^2}{2}.$$

Работа силы трения при прижимающей силе (сила нормального давления —  $N$ ), коэффициенте трения  $k$  на перемещении ( $\Delta \bar{s}$ ) равна:

$$A_{тр} = - k N \Delta \bar{s}.$$

Как видно, работа силы тяжести и силы упругости не зависит от формы траектории тела; работа же силы трения зависит от длины пути, стало быть, и от формы траектории.

При вращательном движении работа силы на конечном пути зависит от момента силы и углового перемещения:



$$A_z = \int_0^{\dot{\varphi}} M_z(\bar{F}) d\varphi; [A_z] = ML^2T^{-2}.$$

При энергетических расчетах для оценки роли силы определяют мощность силы, характеризующую важную сторону ее эффекта — быстроту совершения работы.

*Мощность силы — это мера быстроты приращения работы силы. Мощность силы в данный момент времени равна производной по времени от работы:*

$$N = \frac{dA}{dt} = \dot{A} = Fv; [N] = ML^2T^{-3},$$

где  $N$  — мощность,  $dA$  — элементарная работа,  $\bar{F}$  — сила, совершающая работу.

Эффективность приложения сил в механике определяют по коэффициенту полезного действия (к.п.д.) — отношению полезной работы ( $A_n$ ) ко всей затраченной работе ( $A$ ) движущих сил:

$$\eta = \frac{N_n}{N} = \frac{A_n}{A}.$$

Чем больше к.п.д. ( $\eta$ ), тем эффективнее движение.

Таким образом, понятие работы представляет собой меру внешних воздействий, приложенных к телу на определенном пути, вызывающих изменения механического состояния тела.

## 11.2. Механическая энергия тела

Энергия — это запас работоспособности системы. Механическая энергия определяется скоростями движений тел в системе и их взаимным расположением; значит, это энергия перемещения и взаимодействия.

*Кинетическая энергия тела — это энергия его механического движения, определяющая возможность совершить работу. При поступательном движении она измеряется половиной произведения массы тела на квадрат его скорости:*

$$E_{k(\text{пост})} = \frac{mv^2}{2}; [E_{k(\text{пост})}] = ML^2T^{-2}.$$

При вращательном движении кинетическая энергия тела имеет выражение:

$$E_{k(\text{вр})} = \frac{I\omega^2}{2}; [E_{k(\text{вр})}] = ML^2T^{-2}.$$

*Потенциальная энергия тела — это энергия его положения, обусловленная взаимным относительным расположением тел или частей одного и того же тела и характерам их взаимодействия. Потенциальная энергия в поле сил тяжести:*

$$E_{\text{м(тж)}} = Gh.$$

где  $G$  — сила тяжести,  $h$  — разность уровней начального и конечного положения над Землей (относительно которого определяется энергия).

Потенциальная энергия упругодеформированного тела:



$$E_{n(упр)} = \frac{C\Delta l^2}{2},$$

где  $C$  — модуль упругости,  $\Delta l$  — деформация.

Потенциальная энергия в поле сил тяжести зависит от расположения тела (или системы тел) относительно Земли. Потенциальная энергия упругодеформированной системы зависит от относительного расположения ее частей. Потенциальная энергия возникает за счет кинетической (подъем тела, растягивание мышцы) и при изменении положения (падение тела, укорочение мышцы) переходит в кинетическую.

Кинетическая энергия системы при плоскопараллельном движении равна сумме кинетической энергии ее ЦМ (если предположить, что в нем сосредоточена масса всей системы) и кинетической энергии системы в ее вращательном движении относительно ЦМ:

$$E_k = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}.$$

Полная механическая энергия системы равна сумме кинетической и потенциальной энергии. При отсутствии воздействия внешних сил полная механическая энергия системы не изменяется.

Изменение кинетической энергии материальной системы на некотором пути равно сумме работ внешних и внутренних сил на этом же пути:

$$\Delta \frac{mv^2}{2} = A^e + A^i.$$

Кинетическая энергия системы равна работе тормозящих сил, которая будет произведена при уменьшении скорости системы до нуля.

В движениях человека одни виды движения переходят в другие. При этом энергия как мера движения материи также переходит из одного вида в другой. Так, химическая энергия в мышцах превращается в механическую (внутреннюю потенциальную упругодеформированных мышц). Порожденная последней сила тяги мышц совершает работу и преобразует потенциальную энергию в кинетическую энергию движущихся звеньев тела и внешних тел. Механическая энергия внешних тел (кинетическая) передается при их действии на тело человека звеньям тела, преобразуется в потенциальную энергию растягиваемых мышц-антагонистов и в рассеивающуюся тепловую энергию (см. гл. IV).

### Глава III

## СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Движения человека в значительной мере зависят от того, каково строение его тела и каковы его свойства. Чрезвычайная сложность строения и многообразие свойств тела человека, с одной стороны, делают очень сложными сами движения и управление ими. Но, с



другой стороны, они обуславливают необычайное богатство, разнообразие движений, до сих пор недоступное в целом ни одной самой совершенной машине.

Биомеханика изучает в теле человека, в его опорно-двигательном аппарате, преимущественно те особенности строения и функций, которые имеют значение для совершенства движений. Отвлекаясь от деталей анатомического строения и физиологических механизмов двигательного аппарата, рассматривают упрощенную модель тела человека — биомеханическую систему. Она обладает основными свойствами, существенными для выполнения двигательной функции, но не включает в себя множество частных деталей.

Таким образом, *биомеханическая система — это упрощенная копия, модель тела человека, на которой можно изучать закономерности движений.*

Биомеханическая система тела человека состоит из биомеханических цепей. Множество частей тела, соединенных подвижно, образует биокинематические цепи<sup>1</sup>. К ним приложены силы (нагрузки), которые вызывают деформации звеньев тела и изменение их движений.

## БИОКИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

В технических механизмах и построенных из них машинах<sup>2</sup> возможности движений их деталей обычно полностью зависят от способов их соединений. В живых механизмах способы соединения частей тела в биокинематические цепи не полностью определяют возможности движений, например направление и размах. Участие мышц в управлении движениями делает соединения звеньев способными на множество вариантов движений. Мышцы определяют движения костных рычагов, передающих движение и усилия, и маятников, сохраняющих начавшееся движение.

## § 12. Соединения звеньев тела

Соединенные два соседних звена тела образуют пару, а пары, в свою очередь, соединены в цепи.

### 12.1. Биокинематические пары и цепи

*Биокинематическая пара — это подвижное (кинематическое) соединение двух костных звеньев, в котором возможности движений определяются его строением и управляющим воздействием мышц.*

В технических механизмах соединения двух звеньев — кинематические пары — устроены обычно так, что возможны лишь вполне определенные, заранее заданные движения. Одни возможности не огра-

<sup>1</sup> Кинематические пары и цепи — понятия, заимствованные из теории механизмов и машин. В живых организмах их правильно называть биокинематическими.

<sup>2</sup> Механизм — соединение тел, преобразующих и передающих одно другому определенные движения. Машина — комплекс механизмов для заданного преобразования энергии в работу или наоборот.



нижены (их характеризуют степени свободы движения), другие полностью ограничены (их характеризуют степени связи).

Различают связи: а) геометрические (постоянные препятствия перемещению в каком-либо направлении, например костное ограничение в суставе) и б) кинематические (ограничение скорости, например мышцей-антагонистом).

В биокинематических парах имеются постоянные степени связи, которые определяют собой сколько как максимум и каких остается степеней свободы движения. Почти все биокинематические пары в основном вращательные (шарнирные); немногие допускают чисто поступательное скольжение звеньев относительно друг друга и лишь одна пара (голеностопный сустав) — винтовое движение.

Биокинематическая цепь — это последовательное либо незамкнутое (разветвленное), либо замкнутое соединение ряда биокинематических пар (рис. 10, а).

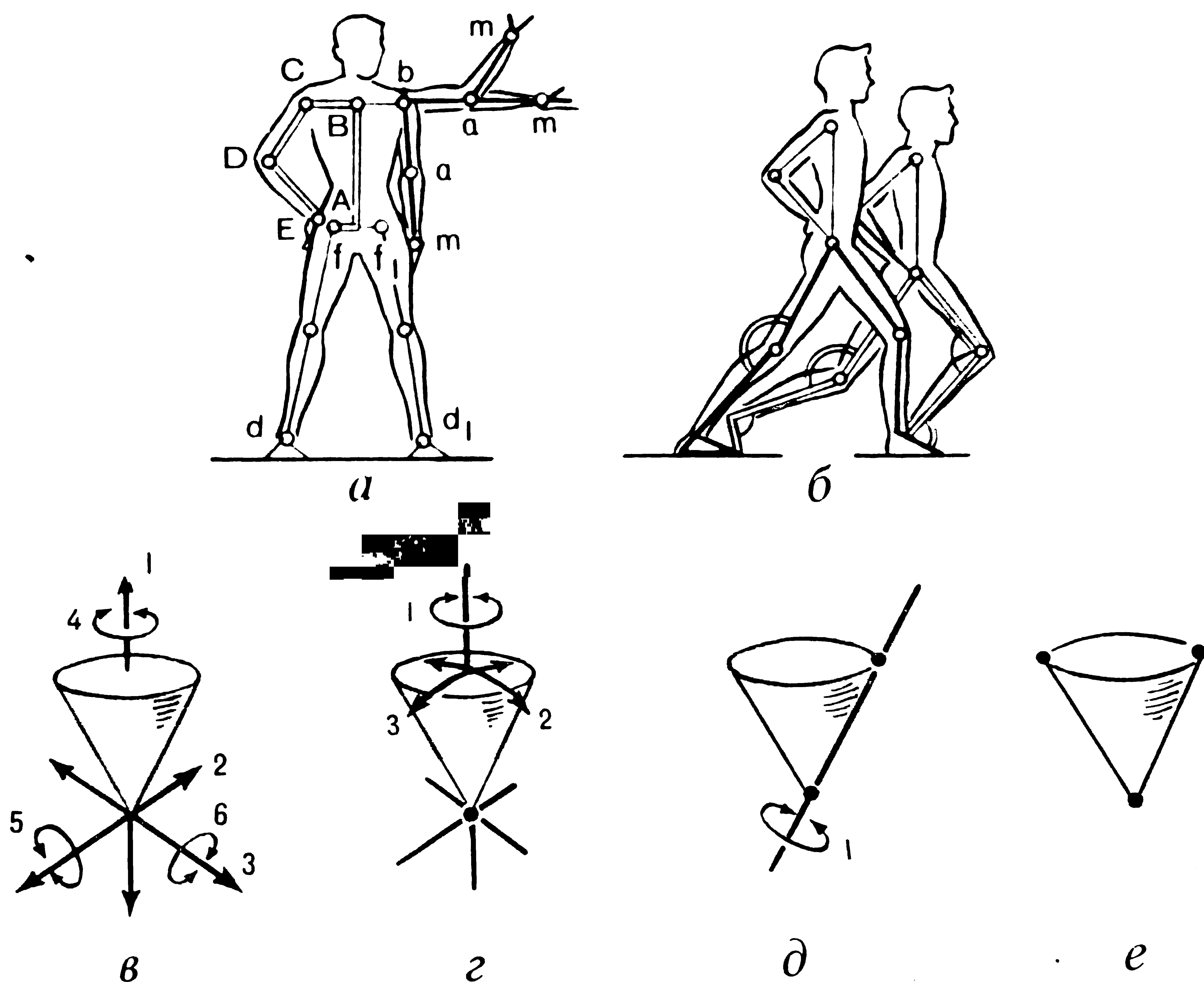


Рис. 10.

Биокинематические цепи тела человека:

а — виды цепей, *h a m* — незамкнутая, *A B C D E A* — замкнутая на себя, *d f f<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d* — замкнутая через опору; б — взаимосвязь движений в замкнутой цепи; в, г, д, е — степени свободы движений тела

<sup>1</sup> Связью называют ограничение движений тела, не зависящее от положений и скоростей.



В незамкнутых цепях имеется свободное (конечное) звено, входящее лишь в одну пару. В замкнутых цепях нет свободного конечного звена, каждое звено входит в две пары.

В незамкнутой цепи, следовательно, возможны изолированные движения в каждом отдельно взятом суставе. В двигательных действиях движения в незамкнутых цепях происходят обычно одновременно во многих суставах, но возможность изолированного движения не исключена.

В замкнутой цепи изолированные движения в одном суставе невозможны: в движение неизбежно одновременно вовлекаются и другие соединения (рис. 10, б).

Значительная часть незамкнутых биокинематических цепей оснащена многосуставными мышцами. Поэтому движения в одних суставах через такие мышцы бывают связаны с движениями в соседних суставах. Однако при точном управлении движениями во многих случаях эту взаимную связь можно преодолеть, «выключить». В замкнутых же цепях связь непреодолима и действия мышц обязательно передаются на отдаленные суставы.

Незамкнутая цепь может стать замкнутой, если конечное свободное звено получит связь (опора, захват) с другим звеном цепи (непосредственно или через какое-либо тело).

## 12.2. Степени свободы и связи движений

Если у физического тела нет никаких ограничений (связей), оно может двигаться в пространстве во всех трех измерениях, т. е. относительно трех взаимно перпендикулярных осей (поступательно), а также вокруг них (вращательно). Следовательно, у такого тела шесть степеней свободы движения (рис. 10, в).

Каждая связь уменьшает число степеней свободы. Зафиксировав одну точку свободного тела, сделав его звеном пары, сразу лишают его трех степеней свободы — возможных линейных перемещений вдоль трех основных осей координат. Примером может служить шаровидный сустав — тазобедренный, в котором три степени свободы из шести (возможно вращение относительно трех осей) (рис. 10, г). Закрепление двух точек звена говорит о наличии оси, проходящей через эти точки. В таком случае остается одна степень свободы. Пример подобного ограничения — одноосный сустав, например межфаланговый (рис. 10, д). Закрепление третьей точки, не лежащей на этой оси, полностью лишает звено свободы движений (рис. 10, е). Такое соединение к суставам не относится. В анатомии выделяют также двуосные суставы; они имеют вторую степень свободы вследствие неконгруэнтности (неполного соответствия по форме) суставных поверхностей (суставы лучезапястный и пястнофаланговый 1-го пальца).

Почти во всех суставах (кроме межфаланговых, лучелоктевых и атлантоосевого) степеней свободы больше, чем одна. Поэтому устройство пассивного аппарата в них обуславливает неопределенность движений, множество возможностей движений («неполносвязный механизм»). Управляющие воздействия мышцы вызывают



дополнительные связи и оставляют для движения только одну степень свободы («п о л н о с в я з н ы й м е х а н и з м»). Так обеспечивается одна-единственная возможность движений — именно та, которая требуется.

Каждая биомеханическая пара многоосного сустава включает в себе возможности многих механизмов (А. А. Ухтомский). Из множества возможностей при помощи управляющих воздействий мышц выделяют заданное управляемое движение. Биокинематические соединения богаче возможностями, чем кинематические соединения в технических механизмах, но управление ими сложнее.

Следовательно, множество степеней свободы кинематической пары в многоосных суставах требует для выполнения каждого определенного движения: а) выбора необходимой траектории, б) управления движением по траектории (направлением и величиной скорости) и в) регуляции движения, понимаемой как борьба с помехами, сбивающими с траектории.

### § 13. Звенья тела как рычаги и маятники

Кости как твердые (негибкие) звенья, соединяясь подвижно, образуют основу биокинематических цепей. Приложенные силы действуют на звенья как на рычаги или маятники. Во многих случаях звенья сохраняют движение под действием приложенных сил как маятники.

#### 13.1. Рычаги в биокинематических цепях

*Костные рычаги — звенья тела, подвижно соединенные в суставах под действием приложенных сил, — могут либо сохранять свое положение, либо изменять его. Они служат для передачи движения и работы на расстояние.*

Все силы, приложенные к звену как рычагу, можно объединить в две группы: а) силы или их составляющие, лежащие в плоскости оси рычага (они не могут повлиять на движение вокруг этой оси) и б) силы или их составляющие, лежащие в плоскости, перпендикулярной к оси рычага (они могут влиять на движение вокруг оси в двух противоположных направлениях). Рассматривая действие сил на рычаг, учитывают только силы, направленные по ходу движения (движущие) и против него (тормозящие).

Когда группы сил приложены по обе стороны от оси (точки опоры) рычага, его называют **д в у п л е ч и м** или рычагом первого рода (рис. 11, а), а когда по одну сторону — **о д н о п л е ч и м**, или рычагом второго рода (рис. 11, б). Для разных мышц, прикрепленных в разных местах костного звена, рычаг может быть разного рода. Так, относительно своих сгибателей предплечье (при работе против веса груза) представляет собой **одноплечий** рычаг; относительно же мышц-разгибателей (при удержании груза над головой) — **двуплечий** рычаг.

При преодолевающих движениях сила сокращающихся мышц (их равнодействующая тяга) — **движущая** сила, при уступающих движениях сила растягиваемых мышц (их равнодействующая тяга) — **тормозящая**. Силы сопротивления направлены противоположно действию мышц.



Каждый рычаг имеет следующие элементы (рис. 11, в): а) точку опоры (0), б) точки приложения сил, в) плечи рычага (расстояния от точки опоры до точек приложения сил —  $l$ ) и г) плечи сил (расстояния от точки опоры до линий действия сил — опущенные на них перпендикуляры —  $d$ ). Мерой действия силы на рычаг служит ее момент относительно точки опоры (произведение силы на ее плечо).

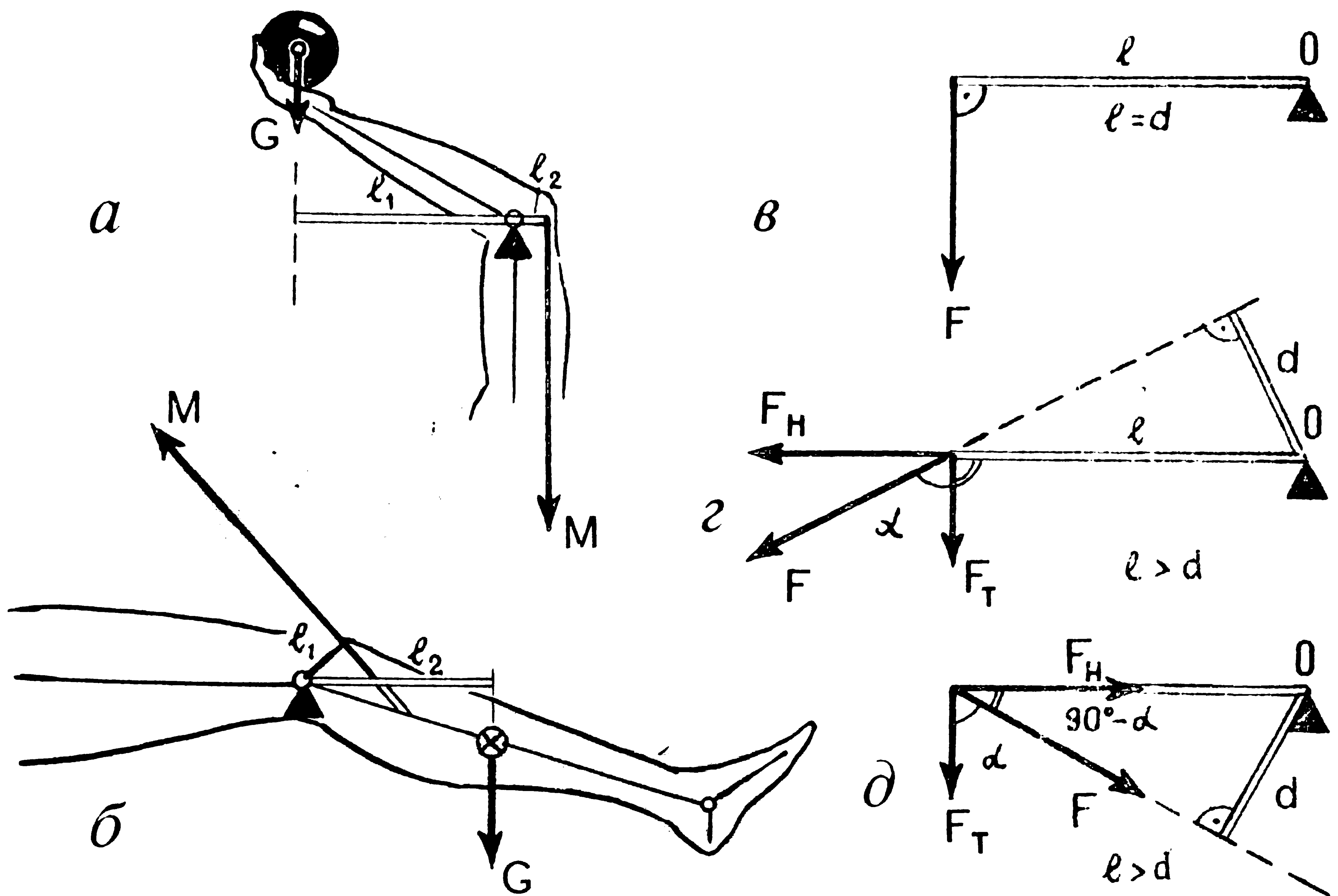


Рис. 11.

Костные рычаги:

а — двуплечий, б — одноплечий; вращающая составляющая ( $F_T$ ) и укрепляющая ( $F_H$ ) силы при углах ее приложения: в — в прямом, г — тупом, д — остром

### 13.2. Условия равновесия и ускорения костных рычагов

Сохранение положения и движения звена как рычага зависит от соотношения противоположно действующих моментов сил.

Когда противоположные относительно оси сустава моменты сил равны, звено либо сохраняет свое положение, либо продолжает движение с прежней скоростью (моменты сил уравновешены). Если же один из моментов сил больше другого, звено получает ускорение в направлении его действия.

Момент движущих сил, преобладая над моментом тормозящих сил, придает звену положительное ускорение (в сторону движения). Момент тормозящих сил, если он преобладает, придает звену отрицательное ускорение, вызывает торможение звена. В реальных движениях моменты этих двух групп сил редко бывают равны, и поэтому движения обычно либо ускоренные (положительное ускорение, разгон звена), либо замедленные (отрицательное ускорение, торможение звена).



Для сохранения положения звена в суставе, естественно, необходимо равенство моментов сил.

При всех движениях угол  $\alpha$  между направлением равнодействующей группы сил и звеном изменяется (см. рис. 11,  $z$ ,  $d$ ). Плечо рычага ( $l$ ) — расстояние от точки опоры рычага до места приложения силы — остается неизменным. Но плечо силы ( $d$ ) изменяется. Изменяется обычно и сама сила мышечной тяги. Следовательно, момент силы тяги мышц не остается постоянным. Все это создает большие трудности для управления движениями, но вместе с тем обуславливает и широкие возможности изменения движения.

Когда сила приложена к рычагу под углом, отличающимся от прямого, ее можно разложить на тангенциальную составляющую (касательную к траектории точек рычага —  $F_t$ ) (см. рис. 11,  $z$ ,  $d$ ) и нормальную (перпендикулярную к направлению движения —  $F_n$ ). Тангенциальная составляющая влияет на скорость движения рычага, поэтому ее называют вращающей (или явной). Нормальная составляющая (направленная вдоль рычага) с точки зрения механики никакого эффекта на звено прямо не производит. Однако она прижимает суставные поверхности костей друг к другу и этим укрепляет сустав; отсюда ее название — укрепляющая (или скрытая).

По сути дела, звенья тела действуют в биокинематической цепи чаще всего как составные рычаги, в которых очень сложные условия передачи движения и работы. В простом рычаге работа силы, приложенной в одной его точке, передается на другие точки полностью. Если плечи сил неравны, то прилагаемая сила передается либо с потерей в силе (но с выигрышем в пути, а следовательно и в скорости), либо, наоборот, с выигрышем в силе, но с потерей в скорости. В одноплечих рычагах направление передаваемой силы изменяется, а в двухплечих — не изменяется. Сила тяги мышц обычно приложена на более коротком плече рычага, и поэтому плечо ее силы относительно невелико. Это связано с тем, что в большей части случаев мышцы прикрепляются вблизи суставов. Когда мышца расположена вдоль звена и прикрепляется вдалеке от сустава, угол тяги ее очень мал и поэтому плечо силы также очень мало. В связи с этим силы тяги мышц, действующие на костные рычаги, почти всегда дают выигрыш в скорости (естественно, с проигрышем в силе).

Различают две основные причины проигрыша в силе: прикрепление мышцы вблизи сустава и тяга мышцы вдоль кости под острым или тупым углом. Можно указать еще и на третью причину некоторых потерь в силе мышц. При больших нагрузках напрягаются все мышцы, окружающие сустав. Мышцы-антагонисты, создавая моменты сил, которые направлены противоположно друг другу, полезной работы не производят, а энергию на напряжение затрачивают. Но в конечном счете в этом есть определенный смысл, хотя и происходят потери энергии: сустав во время больших нагрузок укрепляется благодаря напряжению мышц, которые его окружают.



### 13.3. Биокинематические маятники

Звено тела, продолжающее после разгона движение по инерции, имеет сходство с физическим маятником. Маятник в поле силы тяжести, выведенный из равновесия, сначала под действием момента силы тяжести качается вниз, а далее, затрачивая приобретенную кинетическую энергию, поднимается по инерции вверх. Период качаний маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgr}},$$

где  $I$  — момент инерции маятника относительно оси, проходящей через точку подвеса,  $m$  — его масса,  $g$  — ускорение свободно падающего тела,  $r$  — радиус ЦМ, т. е. расстояние между точкой подвеса и ЦМ. Период качаний определяет собственную частоту качаний маятника, и, как видно из формулы, как будто независимо от их амплитуды. Однако это не совсем так; данная формула действительна только для малых колебаний (не более  $5-7^\circ$ , когда  $\sin \alpha$  примерно равен углу отклонения  $\alpha$ ). При более значительных отклонениях (например, качаниях ног в ходьбе, беге) частота качаний зависит от их амплитуды. Более того, длина «маятника» при сгибании и разгибании ноги изменяется, поэтому нога как маятник постоянной собственной частоты не имеет.

Ускорение  $\varepsilon$  звена как маятника зависит от приложенного момента силы ( $M_0(\bar{F}) = \bar{F} \cdot d$ ) и момента инерции маятника ( $I = m R_{ин}^2$ ):

$$\varepsilon = \frac{M_0(\bar{F})}{I},$$

где  $R_{ин}$  — радиус инерции. Чтобы увеличить ускорение, надо увеличить либо силу, либо плечо, либо и то и другое или же уменьшить радиус инерции.

Составные маятники (несколько подвешенных друг к другу маятников) ведут себя намного сложнее. Именно поэтому в каждом шаге моменты мышечных сил нужно приспосабливать к переменным механическим условиям, чтобы обеспечивать относительное постоянство шагов.

## БИОДИНАМИКА МЫШЦ

### § 14. Механические свойства мышц

Основная функция мышц состоит в преобразовании химической энергии в механическую работу или силу. Главными биомеханическими показателями, характеризующими деятельность мышцы, являются: а) сила, регистрируемая на ее конце (эту силу называют натяжением или силой тяги мышцы)<sup>1</sup>, и б) скорость изменения длины.

При возбуждении мышцы изменяется ее механическое состояние; эти изменения называют сокращением. Оно проявляется в изменении натяжения и (или) длины мышцы, а также других ее механических свойств (упругости, твердости и др.).

<sup>1</sup> Не следует силу тяги мышцы называть напряжением, так как в механике «напряжение» — это не сила (Н), а величина силы на единицу площади сечения тела (Н/м<sup>2</sup>).



Механические свойства мышц сложны и зависят от механических свойств элементов, образующих мышцу (мышечные волокна, соединительные образования и т. п.), и состояния мышцы (возбуждения, утомления и пр.).

Понять многие из механических свойств мышцы помогает упрощенная модель ее строения — в виде комбинации упругих и сократительных компонентов (рис. 12). Упругие компоненты по механическим свойствам аналогичны пружинам: чтобы их растянуть, нужно приложить силу. Работа силы равна энергии упругой деформации, которая может в следующей фазе движения перейти в механическую работу. Различают: а) параллельные упругие компоненты (ПарК) — соедини-

тельнотканые образования, составляющие оболочку мышечных волокон и их пучков, и б) последовательные упругие компоненты (ПосК) — сухожилия мышцы, места перехода миофибрилл в соединительную ткань, а также отдельные участки саркомеров, точная локализация которых в настоящее время неизвестна.

Сократительные (контрактивные) компоненты соответствуют тем участкам саркомеров мышцы, где актиновые и миозиновые миофиламенты перекрывают друг друга. В этих участках при возбуждении мышцы происходит механическое взаимодействие между актиновыми и миозиновыми филаментами, приводящее к изменению натяжения и длины мышцы.

Поскольку каждая миофибрилла состоит из большого числа ( $n$ ) последовательно расположенных саркомеров, то величина и скорость изменения длины миофибриллы в  $n$  раз больше, чем у одного саркомера. Сила, развиваемая каждым из них, одинакова и равна силе, регистрируемой на конце миофибриллы (подобно тому, как равны силы в каждом из звеньев цепи, к концам которой приложены растягивающие силы). Эти же самые  $n$  саркомеров, соединенные параллельно (что соответствует большему числу миофибрилл), дали бы  $n$ -кратное увеличение в силе, но при этом скорость изменения длины мышцы была бы той же, что и скорость одного саркомера. Поэтому при прочих равных условиях увеличение физиологического поперечника мышцы привело бы к увеличению ее силы, но не изменило бы скорости укорочения; и наоборот, увеличение длины мышцы сказалось бы положительно на скорости сокращения, но не повлияло бы на ее силу.

Покоящаяся мышца обладает упругими свойствами: если к ее концу приложена внешняя сила, мышца растягивается (ее длина увеличивается), а после снятия внешней нагрузки восстанавливает свою исходную длину. Зависимость между величиной нагрузки и удлинением мышцы непропорциональна (не подчиняется закону Гука) (рис. 13).

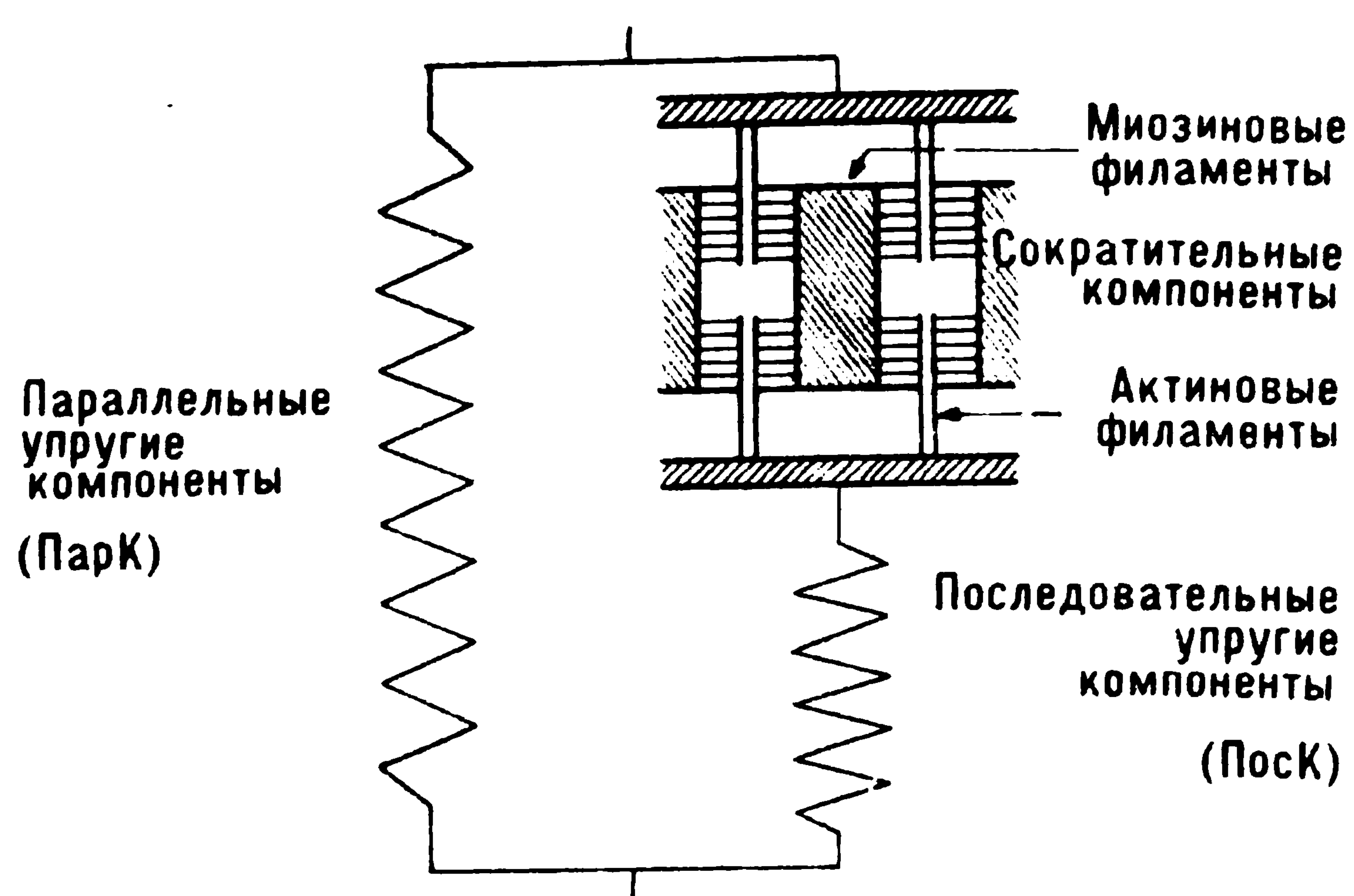


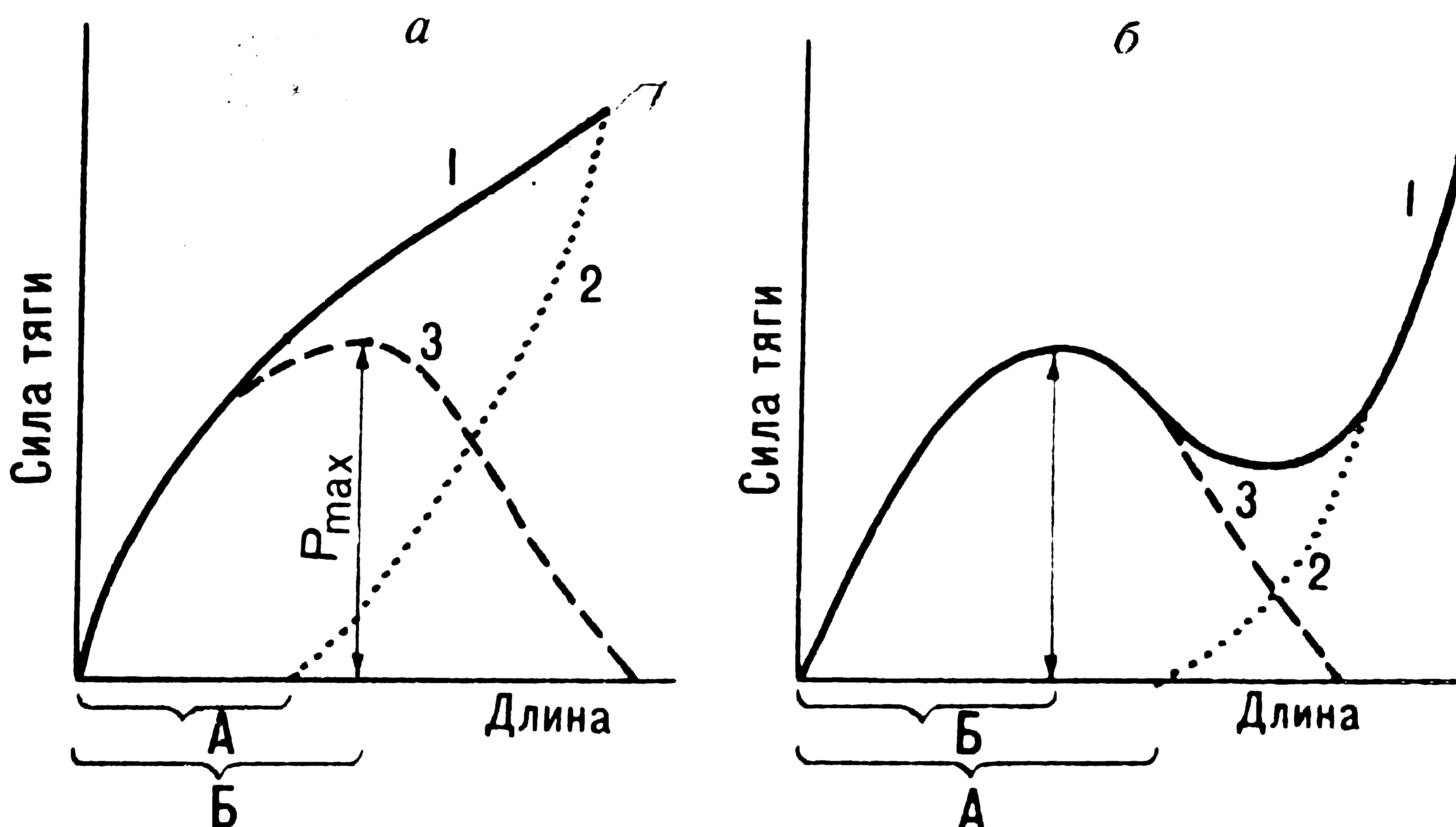
Рис. 12.

Модель механических свойств мышцы



Сначала мышца растягивается легко, а затем даже для небольшого ее удлинения надо прикладывать все бóльшую силу (иногда мышцу в этом отношении сравнивают с вязаными вещами: если растягивать, скажем, трикотажный шарф, то вначале он легко изменяет свою длину, а затем становится практически нерастяжимым).

Если мышцу растягивать повторно через небольшие интервалы времени, то ее длина увеличится больше, чем при однократном воздействии. Это свойство мышц широко используется в практике при выполнении упражнений на гибкость (пружинистые движения, повторные махи и т. п.).



**Рис. 13.**

Зависимость между длиной и силой тяги у разных мышц:  
 А — равновесная длина, В — длина покоя

Длина, которую стремится принять мышца, будучи освобожденной от всякой нагрузки, называется равновесной (или свободной) (рис. 13). При такой длине мышцы ее упругие силы равны нулю. В живом организме длина мышцы всегда несколько больше равновесной и поэтому даже расслабленные мышцы сохраняют некоторое натяжение.

При растягивании мышцы больше равновесной длины появляются упругие силы в параллельных упругих компонентах (рис. 14, а, б).

Если при длине, превышающей равновесную, мышца сокращается, то сила, которую проявляют контракильные элементы, складывается с силой упругой деформации ПарК, и суммарная сила тяги мышцы увеличивается (см. рис. 13). Поэтому при длине выше равновесной сила мышцы при сокращении больше.

Чем больше в мышце соединительнотканых образований, тем раньше при ее растягивании возникают упругие силы ПарК и тем больше их вклад в суммарное напряжение возбужденной мышцы. Так, например, большинство мышц нижних конечностей, где соединительнотканых образований и перистых мышц с угловым расположением



волокон существенно больше, чем в мышцах верхних конечностей, приближается к типу, указанному на рис. 13, а, мышцы верхних конечностей — к типу на рис. 13, б.

С уменьшением длины мышцы сила ее тяги падает, а сила контрактильных компонентов падает также и при значительном удлинении мышцы. Это происходит потому, что максимальную силу контрактильные компоненты проявляют при наибольшей величине перекрытия активных участков актиномиозиновых филаментов. При уменьшении или увеличении длины мышцы площадь перекрытия и соответственно число поперечных мостиков, образующихся между миозиновыми и актиновыми нитями, уменьшается, соответственно падает и сила.

Длину мышцы, при которой сила контрактильных компонентов максимальна, называют *длиной покоя* (рис. 13, Б).

Если к возбужденной мышце, длина которой меньше равновесной, прикладывается большая внешняя сила (например, при постановке ноги на опору в беге), то мышца растягивается и в ней возникают упругие силы. Так как длина ПарК не превышает при этом равновесной длины, основной вклад в данном случае вносит последовательная упругая компонента (ПосК) — (см. рис. 14, в). Из-за наличия в мышце параллельных и последовательных упругих компонент упругие силы в ней могут возникать при любой ее длине (например, при отталкивании в беге или взятии штанги на грудь, хотя длина мышц-разгибателей ног при этом далека от максимально возможной).

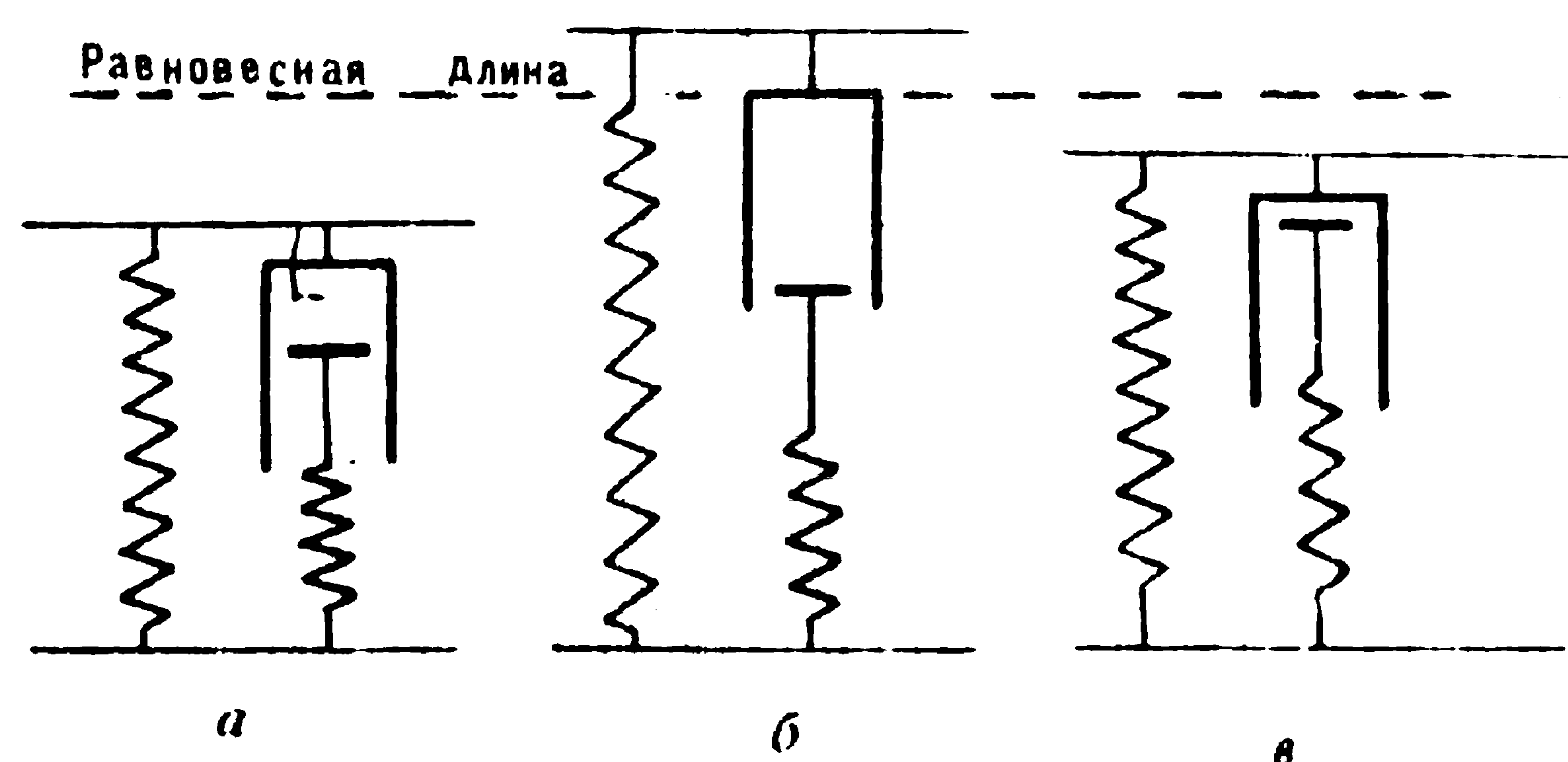


Рис. 14.

Изменение компонентов покоящейся (б) и возбужденной (в) мышцы при ее растягивании

Для мышц характерно также такое свойство, как релаксация — снижение силы упругой деформации с течением времени. При отталкивании в прыжках с места сразу после быстрого приседания прыжок будет выше, чем при отталкивании после паузы в низшей точке подседа: после паузы упругие силы, возникшие при быстром приседании, вследствие релаксации не используются.

## § 15. Механика мышечного сокращения

При возбуждении сила тяги мышцы возрастает. Если величина натяжения мышцы равна внешнему сопротивлению, то длина мышцы не изменяется. Такой режим мышечного сокращения называется изометрическим (от греч. «изо» — равный, «метр» — мера, длина). Если натяжение мышцы не равно внешнему сопротивлению, длина мышцы изменяется — анизометрический режим (приставка «ан» — от греч. «не», «без»). При натяжении мышцы, превосходящем внешнее сопротивление, мышца укорачивается. Такой режим мышечного сокращения называется преодолевающим (миометрическим, концентрическим). При натяжении, меньшем внешних сил, мышца растягивается,



удлиняется. Такой режим называют уступающим (плиометрическим, эксцентрическим). В лабораторных условиях можно создать условия, когда мышца, работая в преодолевающем режиме, поднимает какой-либо груз при постоянном натяжении. Такой режим называется изотоническим (от греч. «тон» — натяжение). В реальных движениях изотонический режим — исключение, так как величина силы тяги мышц все время меняется. Режим, при котором сила мышцы не остается постоянной, называют анизотоническим (раньше в литературе использовался термин «ауксотонический»).

При сокращении мышцы или отдельного волокна сначала возникает сила тяги в контрактильных компонентах мышцы; при этом на внешнем конце мышцы еще не регистрируется возрастание силы (рис. 15, а, б). Затем контрактильные сократившиеся компоненты растягивают ПосК. И только тогда, когда последовательные упругие компоненты достаточно растянуты, на конце мышцы регистрируется изменение силы (рис. 15, в).

Изменение механического состояния контрактильных компонентов мышцы при сокращении называют активным состоянием. Доказать, что мышца находится в активном состоянии, можно, например, так: если в латентный период (т. е. во время между стимуляцией мышцы и появлением на ее конце механического ответа) мышцу быстро растянуть, то на ее конце можно зарегистрировать значительное натяжение — гораздо большее, чем при растяжении покоящейся мышцы. Это происходит потому, что быстрое растягивание последовательных упругих компонентов позволяет проявиться вовне активному состоянию контрактильных компонентов. Есть предположение, что этот механизм (быстрое растягивание ПосК) играет существенную роль при отталкивании в беге и в прыжках: доказано, что мышцы-разгибатели (например, икроножная) становятся электрически активными примерно за 15—25 мсек до постановки ноги на землю. Это означает, что импульсация от мотонейронов приходит к мышце заранее, еще до момента опоры. Однако сокращение в мышце за это время развиться не успевает. В опорном периоде ПосК быстро растягиваются, что позволяет проявиться силе контрактильных компонентов мышцы.

Последовательность развития активного состояния и натяжения мышцы показана на рис. 16.

Механические характеристики сокращения зависят от величины сопротивления. При увеличении нагрузки (сопротивления, веса груза) происходят три изменения.

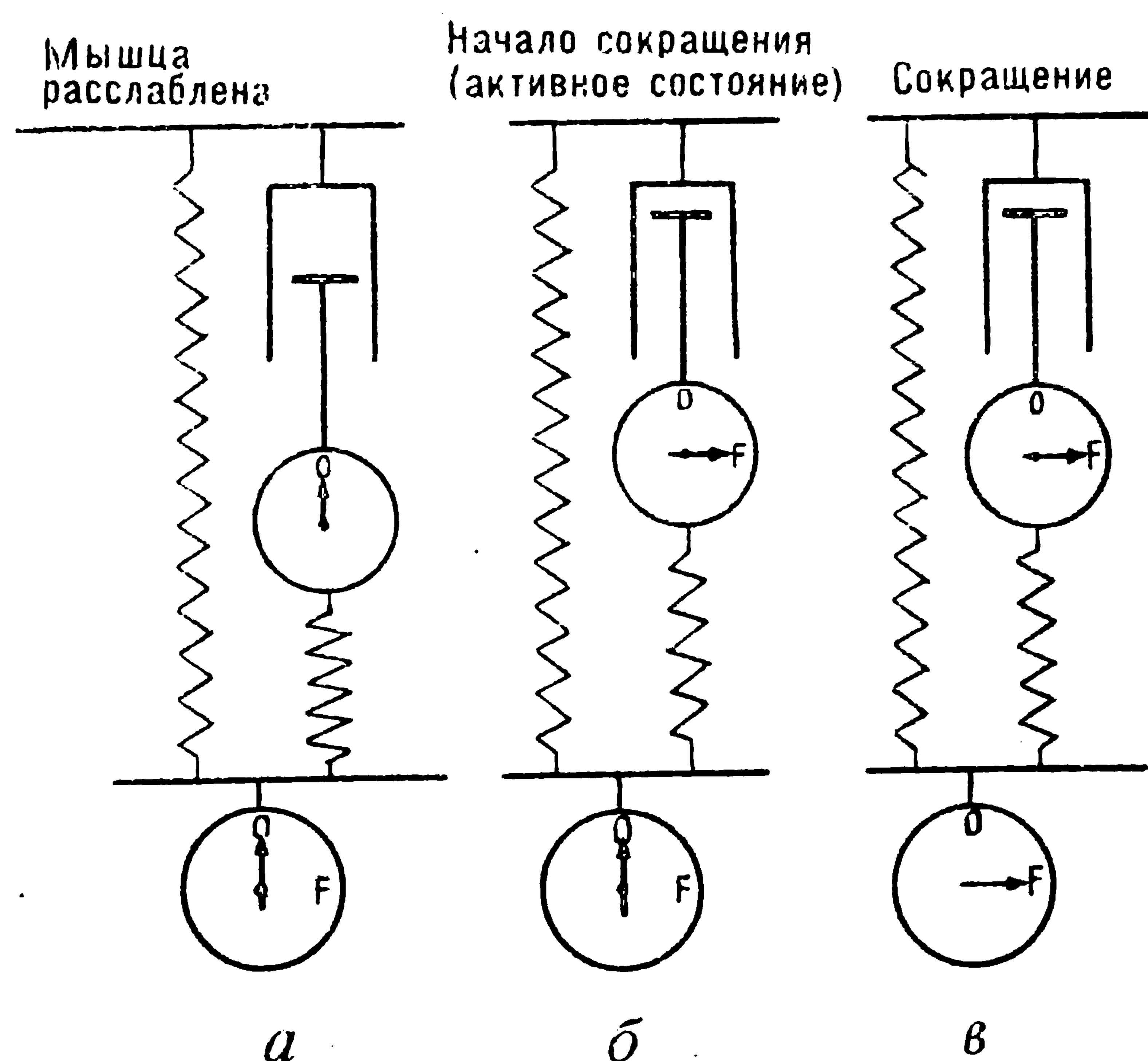


Рис. 15.

Схема последовательности механических явлений в мышце при ее возбуждении



1. Латентный период увеличивается (рис. 17). В решающей степени это связано с временем, которое необходимо, чтобы успеть растянуть ПосК до уровня, при котором изометрическая сила тяги превысит на концах мышцы величину сопротивления.

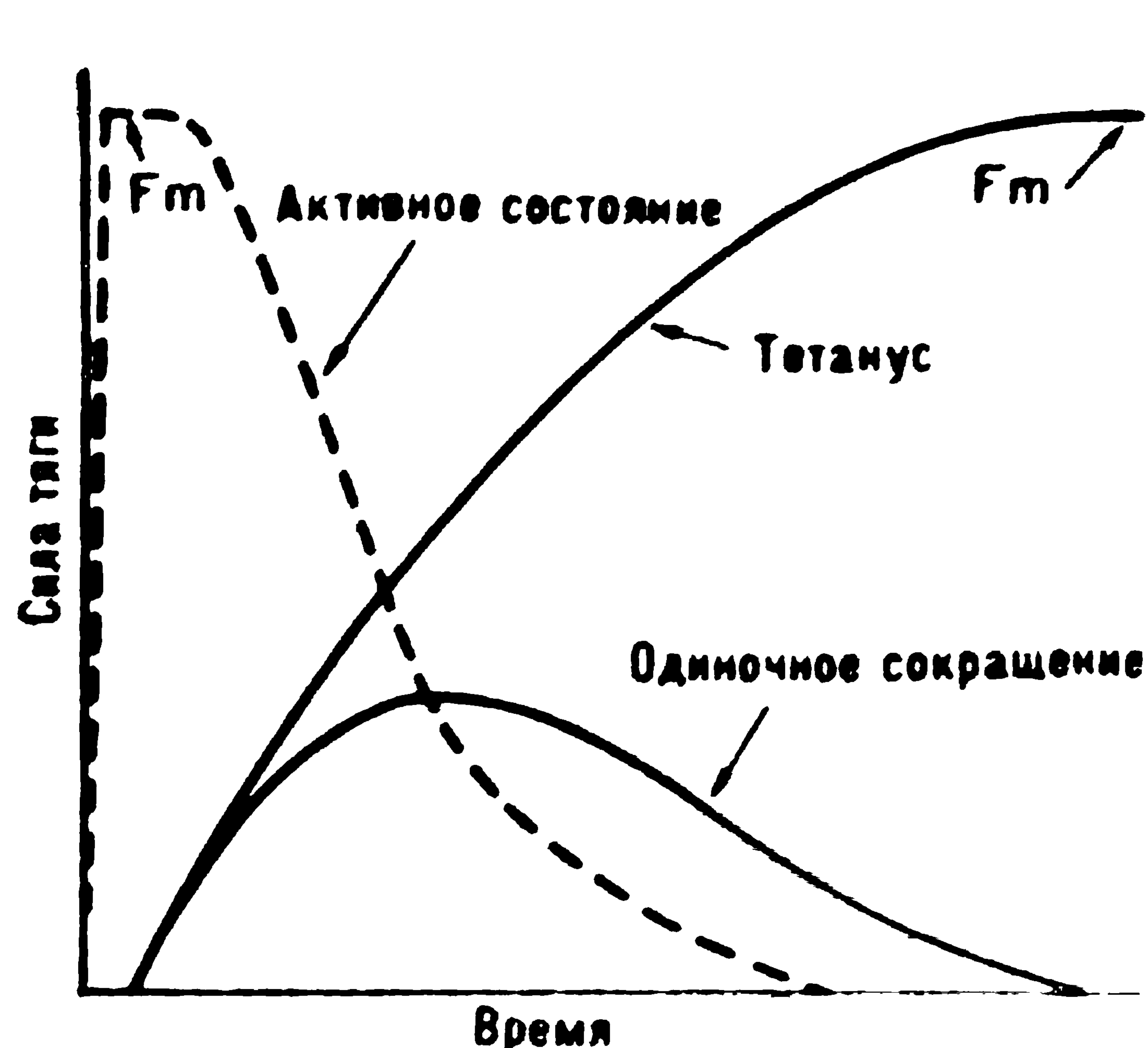


Рис. 16.

Последовательность развития активного состояния и силы тяги мышцы

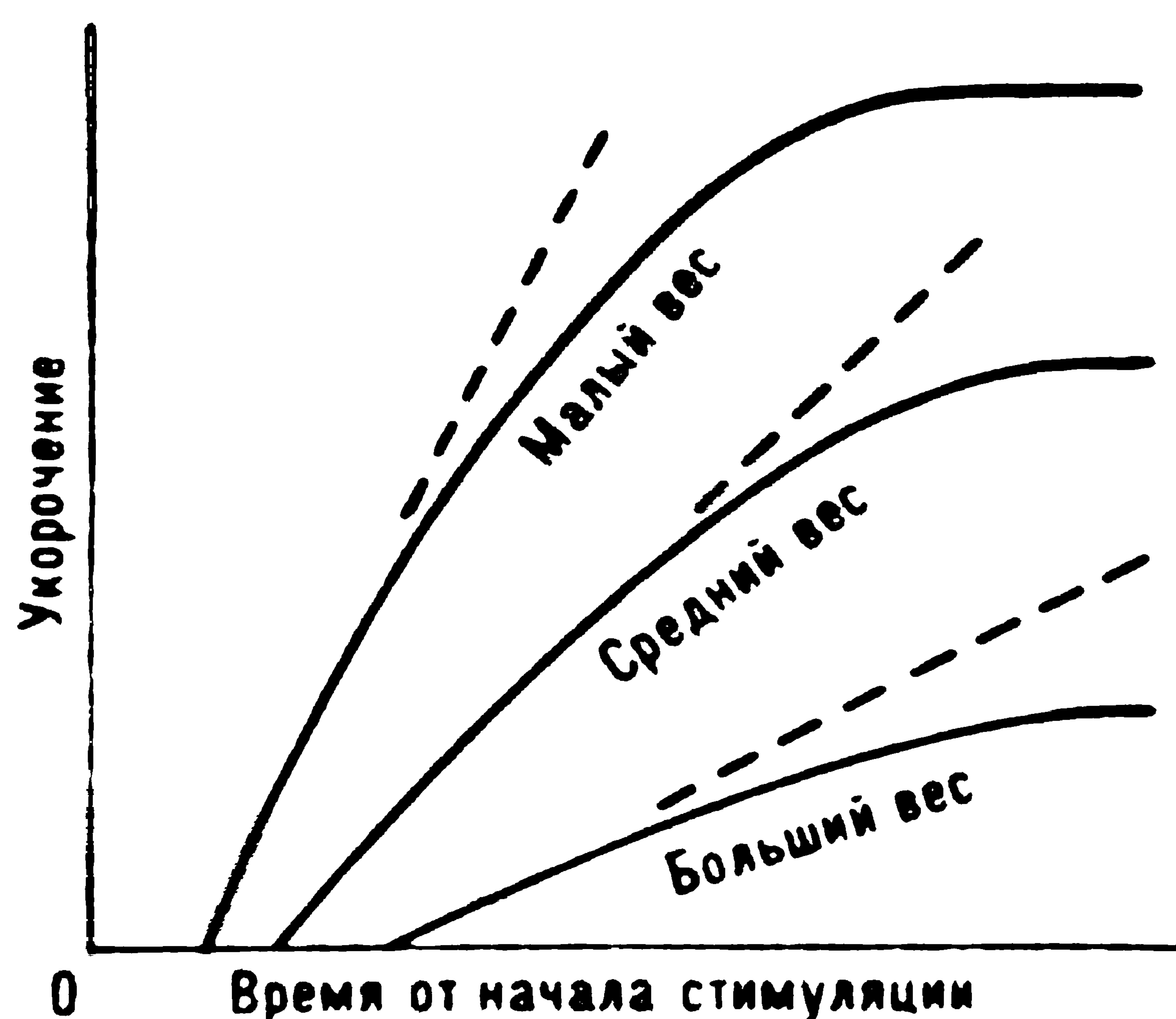


Рис. 17.

Изменение основных характеристик мышечного сокращения при увеличении внешнего сопротивления (по Уилки)

2. Величина изменения длины мышцы (укорочения) уменьшается. Зависимость между величинами преодолеваемого сопротивления и конечной длиной мышцы полностью соответствует описанной выше зависимости «длина — сила тяги» (см. рис. 13).

3. Скорость укорочения падает. Между силой тяги ( $P$ ) и скоростью изменения длины мышцы ( $v$ ) имеет место обратно пропорциональная зависимость (рис. 18); эта зависимость может быть описана формулой:  $(P + a) \cdot (v + v_0) = (P_0 + a)v_0 = \text{const}$ , где  $P$  — сила на конце мышцы (например, при постоянной скорости подъема груза сила равна его весу),  $v$  — скорость,  $P_0$  — максимальная изометрическая сила,  $a$ ,  $v_0$  и  $\text{const}$  — константы<sup>1</sup>. Это уравнение и зависимость, которую оно описывает, часто по имени исследователя, внесшего большой вклад в ее изучение (1938 г.), называют уравнением А. В. Хилла. Зависимость «сила — скорость» находит многочисленные проявления в спортивной практике (подробнее см. гл. V). При уступающем режиме сила тяги мышцы также зависит от скорости: если выше скорость удлинения мышцы, то больше и сила, которую она проявляет (при той же степени возбуждения).

При растягивании активной мышцы происходит также накопление потенциальной энергии упругой деформации, которая затем, после перехода с уступающего на преодолевающий режим сокращения, может перейти в кинетическую энергию движущегося звена. Режим

<sup>1</sup> Константой называется величина, постоянная в определенных условиях.



сокращения со сменой направления движения и с переходом от уступающего к преодолевающему называют *реверсивным*.

Таким образом, при одной и той же степени стимуляции мышцы ее сила тяги зависит от: а) длины в данный момент (см. рис. 13), б) скорости изменения длины (см. рис. 18) и в) времени от момента начала стимуляции (см. рис. 16). Поэтому один и тот же нервный импульс, пришедший к мышце, будет вызывать разный механический эффект, в зависимости от того, в каком состоянии находится возбуждаемая мышца (Н. А. Бернштейн).

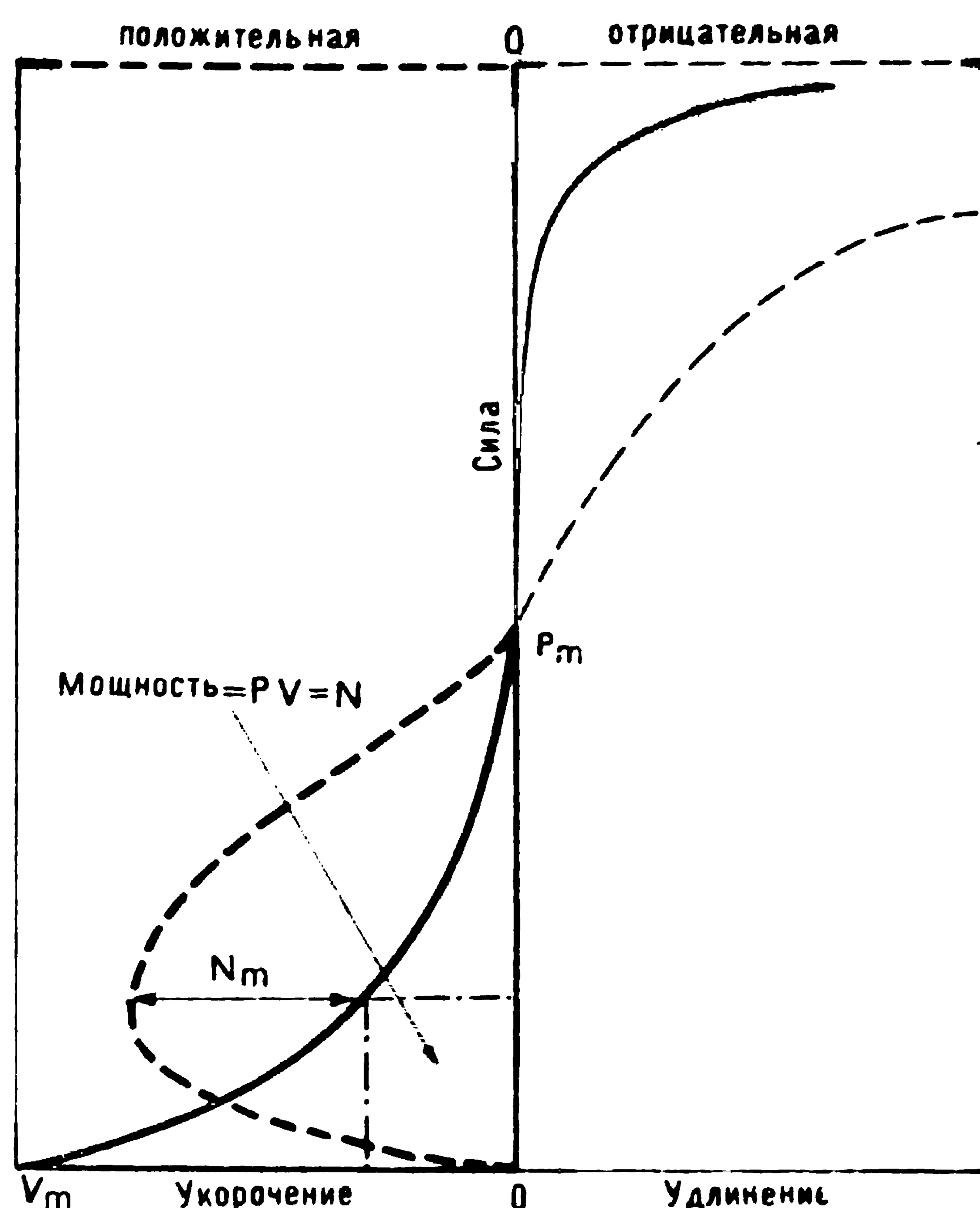


Рис. 18.

Зависимость скорости изменения длины мышцы и мощности от силы тяги мышцы

## § 16. Мощность, работа и энергия мышечного сокращения

Если мышца сокращается анизометрически, то она выполняет работу. При изометрическом сокращении перемещения нет и поэтому работа (в физическом смысле) отсутствует. Аналогично обстоит дело и с мощностью. В изометрическом режиме она равна нулю, в анизометрическом — произведению силы на скорость изменения длины мышцы. Поэтому величины мощности могут быть рассчитаны из кривой «сила — скорость». Для каждого значения этой кривой мощность равна площади прямоугольника, одна из вершин которого находится на кривой, а вторая — в начале координат (см. рис. 18 штрихпунктирные линии). При максимальной стимуляции мышцы ее мощность зависит от скорости сокращения. Максимальное значение мощности отмечается при оптимальных величинах скорости и силы мышцы, равных примерно  $\frac{1}{3}$  максимальных значений. Таким образом, максимальная мощность равна примерно  $\frac{1}{10}$  ( $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9} \approx \frac{1}{10}$ ) той величины, которая была бы достигнута, если бы в одном и том же сокращении мышца могла проявить одновременно и максимальную силу, и максимальную скорость.

При сокращении мышца расходует энергию, которая превращается в работу и тепло. В изометрическом режиме, когда механическая работа равна нулю, вся освобожденная в результате химических реакций энергия превращается в тепло. В анизометрическом режиме одна часть энергии затрачивается на совершение механической работы, а другая часть переходит в тепловую. Отношение выполненной работы к общим затратам энергии (работа + тепло) называется, как известно, коэффициентом полезного действия; к.п.д. мышцы зависит от скорости ее сокращения. Он максимален при скорости, равной примерно 20% от максимальной.



## § 17. Механическое действие мышц

Механическое действие мышцы проявляется как тяга, приложенная к местам ее прикрепления.

### 17.1. Сила и результат тяги мышц

*Сила тяги мышцы зависит от совокупности механических, анатомических и физиологических условий.*

Основным механическим условием, определяющим тягу мышцы, является нагрузка. Без нагрузки на мышцу не может быть ее силы тяги. Нагрузка растягивает мышцу при ее уступающей работе. Против нагрузки мышца выполняет преодолевающую работу. С нарастанием нагрузки сила тяги мышцы увеличивается, но не беспредельно. Нагрузка может быть представлена весом отягощения, а также его силой инерции и другими силами. Большее ускорение отягощения вызывает большую силу инерции. Следовательно, и при не очень большом отягощении, увеличивая его ускорение, можно увеличивать нагрузку, а значит, и силу тяги мышцы.

Движение звеньев в кинематической цепи как результат приложения тяги мышцы зависит также от: а) закрепления звеньев; б) соотношения сил, вызывающих движение, и сил сопротивления; в) начальных условий движения. При различных условиях закрепления звеньев в паре одна и та же тяга приводит к неодинаковому результату — разным движениям звеньев в суставе. В биокинематической паре может быть закреплено одно или другое звено, либо оба свободны, либо оба закреплены (рис. 19). Соответственно возникнут ускорения одного из звеньев, либо обоих вместе (встречные движения), либо соединение будет фиксировано. Для двусуставной мышцы, не говоря уже о многосуставных, возможных вариантов намного больше. Наконец, особо важны для эффекта тяги мышцы начальные условия движения — положение звеньев пары и их скорость (направление и величина) в момент приложения силы тяги мышцы.

Из анатомических условий проявления тяги мышцы надо назвать строение мышцы и ее расположение (в данный момент движения). Физиологический поперечник мышцы (площадь сечения через все волокна перпендикулярно к их продольным осям) определяет

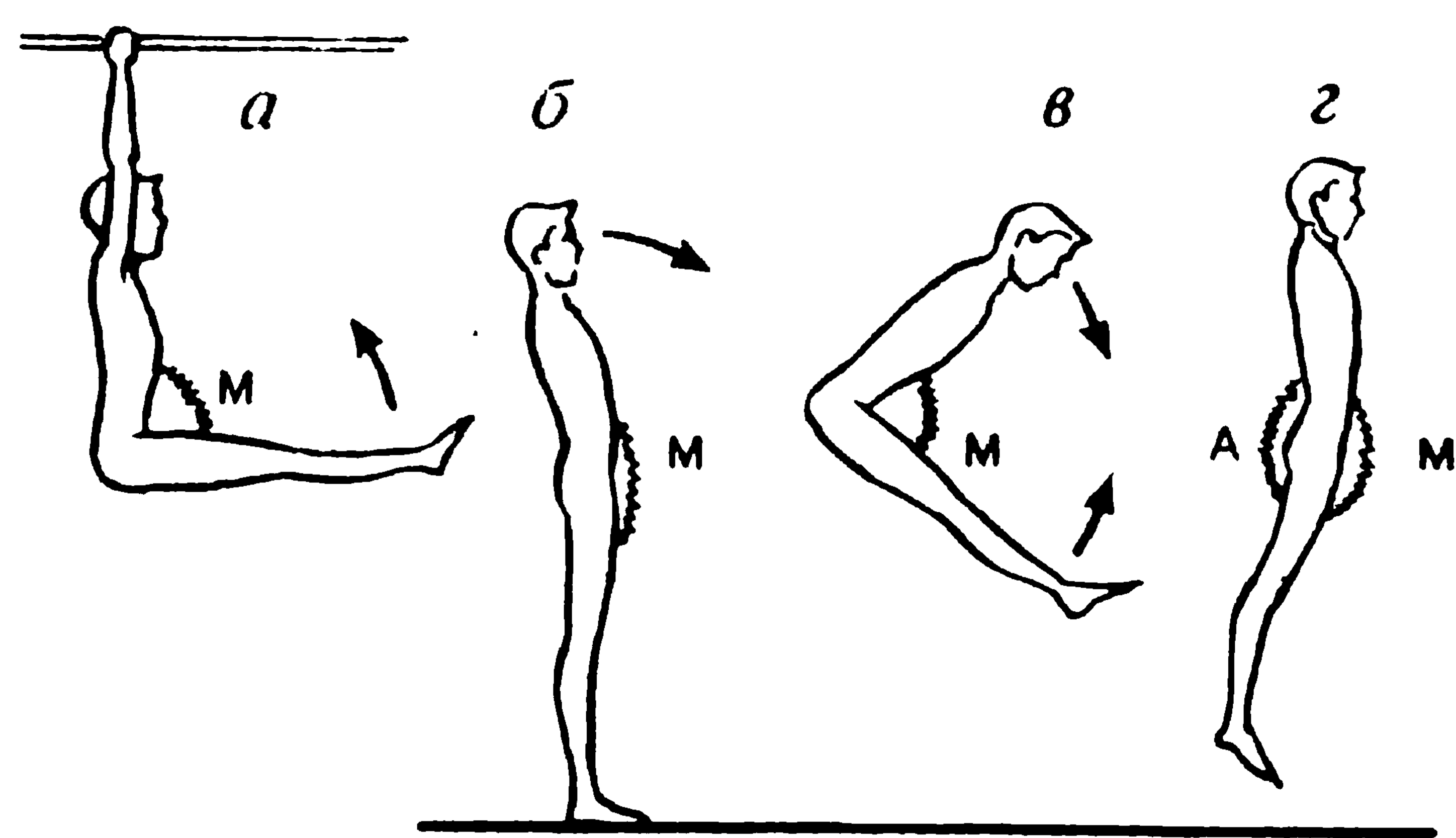


Рис. 19.

Результат тяги мышцы (M):

а — при верхней опоре, б — при нижней опоре, в — без опоры, г — при фиксации антагонистами

суммарную тягу всех волокон с учетом их взаимного расположения. От расположения волокон зависит и величина их упругой деформации при растягивании всей мышцы, а значит, и величина возникающих упругих сил. Расположение мышцы в каждый момент движения определяет угол ее тяги относительно костного рычага и величину растягивания, что влияет на величину момента силы тяги мышцы. При углах, отличающихся от



прямого, как уже говорилось, кроме вращающей имеется и укрепляющая составляющая тяги мышцы; с увеличением укрепляющей уменьшается вращающая.

**Ф и з и о л о г и ч е с к и е** условия проявления тяги мышцы в основном можно свести к ее возбуждению и утомлению. Эти два фактора отражаются на возможностях мышцы, повышая или снижая ее силу тяги.

Величина силы тяги мышцы связана с быстротой ее продольной деформации. С увеличением скорости сокращения мышцы при преодолевающей работе ее сила тяги уменьшается. При уступающей же работе увеличение скорости растягивания мышцы увеличивает ее силу тяги. Это очень важно для оценки силы тяги мышцы при быстрых движениях.

В биокинематических цепях действуют те же факторы, определяющие результат тяги каждой мышцы. Но так как в биокинематической цепи все звенья так или иначе взаимосвязаны, то в каждом конкретном случае лишь совокупность всех факторов определяет результат работы мышц в целом.

## 17.2. Разновидности работы мышц

*Разновидности работы мышц определяются сочетанием изменений их силы тяги и длины.*

Виды работы мышц (преодолевающая, уступающая) определяются только характером изменения длины всей мышцы: укорочением, удлинением или же сохранением длины. Для каждого из этих трех случаев существует возможность по меньшей мере трех вариантов изменения силы тяги: увеличения, уменьшения или сохранения ее постоянной. Таким образом, схематически можно выделить девять типичных разновидностей работы мышц (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Типичные разновидности работы мышц<sup>1</sup>

Сила тяги мышцы	Длина мышцы		
	уменьшается	постоянная	увеличивается
Увеличивается	1. Движение «до отказа»	4. Усиление фиксации	7. Торможение до остановки
Постоянная	2. Изотоническое преодоление	5. Постоянная фиксация	8. Изотоническое уступание
Уменьшается	3. Разгон до максимума скорости	6. Ослабление фиксации	9. Притормаживание с уступанием
Вид работы	Преодолевающая	Статическая	Уступающая

<sup>1</sup> Названия разновидностей условные, поскольку в практике не сложилось еще определенной терминологии.

Во время сохранения положения тела имеет место постоянная фиксация (5), но могут быть случаи, когда необходимо ее усиление (4) или возможно ослабление (6). Изотонический режим при движениях (2 и 8) практически не встречается. В начале каждого



активного движения всегда имеет место **р а з г о н**, увеличение скорости (3). Прекращение движения работой мышц — следствие их **т о р м о з я щ е й** работы (7). Последние две разновидности самые распространенные в движениях и заслуживают особого внимания. В физических упражнениях (особенно скоростно-силового характера) уступающая работа одной и той же мышцы переходит в преодолевающую. В этом случае более полно используются силы упругой деформации. В сложных действиях одна и та же мышца может не раз включаться в работу, изменяя при этом ее особенности (разновидности).

Хотя работа мышц и проявляется только через их тягу, разновидности работы в зависимости от конкретных условий очень разнообразны.

## § 18. Групповые взаимодействия мышц

Действие мышцы в биокинематических цепях в нормальных условиях никогда не бывает изолированным. Мышцы участвуют в движениях группами, при сложном взаимодействии как между группами, так и внутри их.

### 18.1. Рабочие и опорные тяги мышц

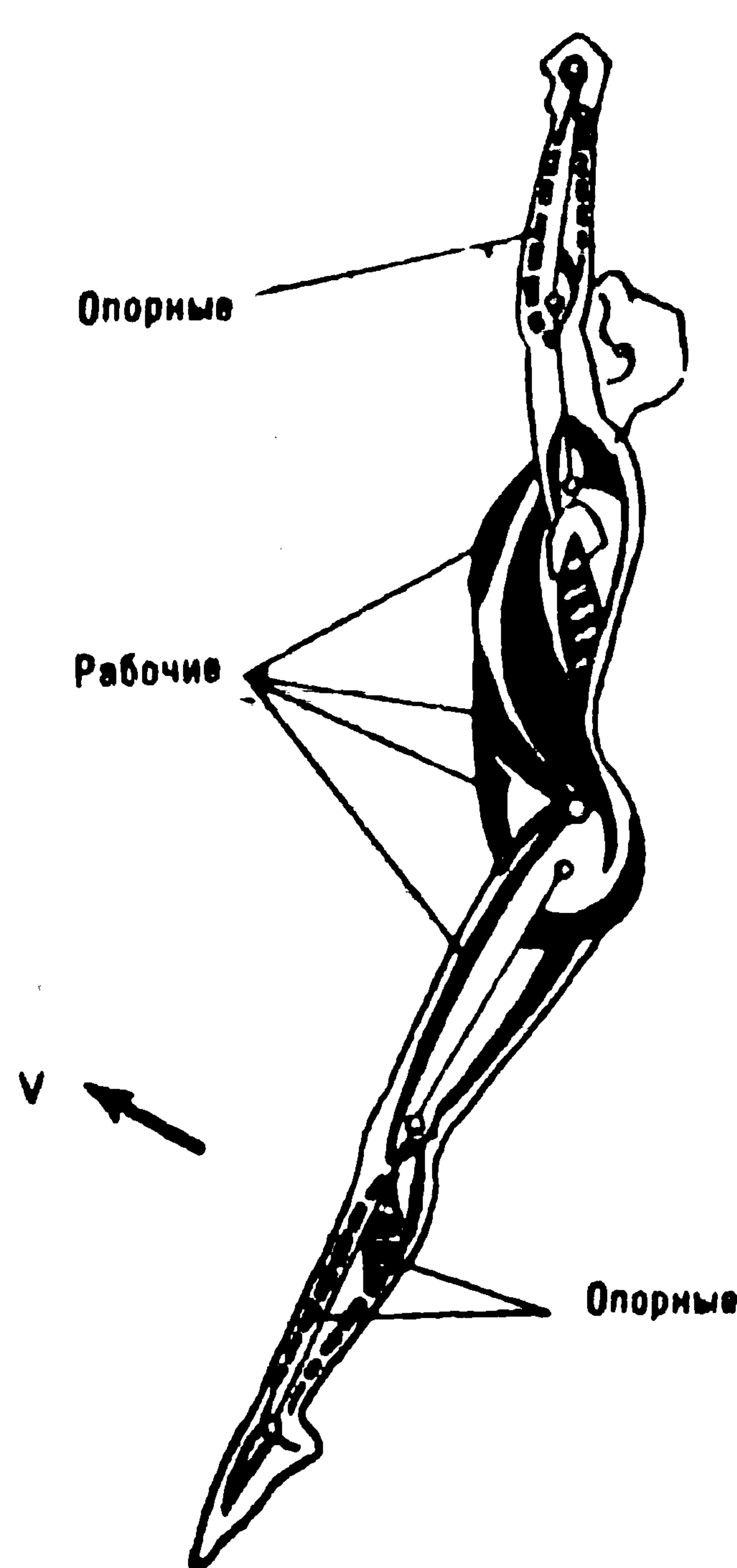
*Рабочие тяги мышц (динамическая работа) обуславливают выполнение движений, а опорные тяги мышц (статическая работа) создают необходимые условия для этого.*

Мышцы, осуществляющие движения подвижных звеньев, обеспечивающие активные движения, создают **р а б о ч и е** тяги. Эти мышцы изменяют свою длину, сокращаются при преодолевающей работе и растягиваются при уступающей.

Для выполнения движений как при опоре, так и без опоры (полетные фазы прыжка, бега и т. п.) необходимо создавать опору для работающих мышц. Звенья тела, соприкасающиеся с опорой — опорные звенья, сохраняют свое положение и связь с ней (например, в висе, рис. 20) благодаря **о п о р н ы м** тягам мышц. Это статическая работа, фиксирующая суставы. Кроме того, фиксируются те или иные звенья тела, что создает опору для мышц, выполняющих динамическую работу. Получается в целом своего рода фундамент для подвижных звеньев, движущихся относительно друг друга и относительно опорных звеньев.

Таким образом, все мышцы, участвующие в двигательных действиях, работают либо статически, либо динамически. Эти виды работы зависят друг от друга. В движениях, требующих значительных рабочих тяг, обычно бывают значительными и опорные тяги.

Ввиду того что длительная статическая работа утомительна, нередко статические опорные тяги



**Рис. 20.**

Опорные и рабочие тяги мышц



заменяются своего рода «опорными» динамическими тягами. В этих случаях опорные звенья не остаются совершенно неподвижными, они движутся, только с малыми размахами (например, колебания позвоночного столба при ходьбе).

## 18.2. Биодинамически полносвязный механизм

*Мышцы, окружающие сустав, функционируют, образуя совместно функциональные группы: а) совместного действия — синергисты и б) противоположного действия — антагонисты. Их согласованная тяга превращает неодоосный сустав в биодинамически полносвязный механизм с определенным направлением движения и скоростью звена.*

Мышцы-антагонисты, участвуя в движениях, выполняют уступающую работу; растягиваясь, они тормозят движение. Если действие их тяги становится равно действию синергистов, то в случае прекращения движения они становятся мышцами-фиксаторами положения того звена, к которому приложены их тяги.

Синергизм и антагонизм в работе мышц относительно. Так, противоположно направленные составляющие мышц-синергистов можно рассматривать как взаимно антагонистические. В свою очередь, совместная тяга синергистов и их антагонистов обеспечивает заданный эффект, значит, они в известной степени проявляют синергизм.

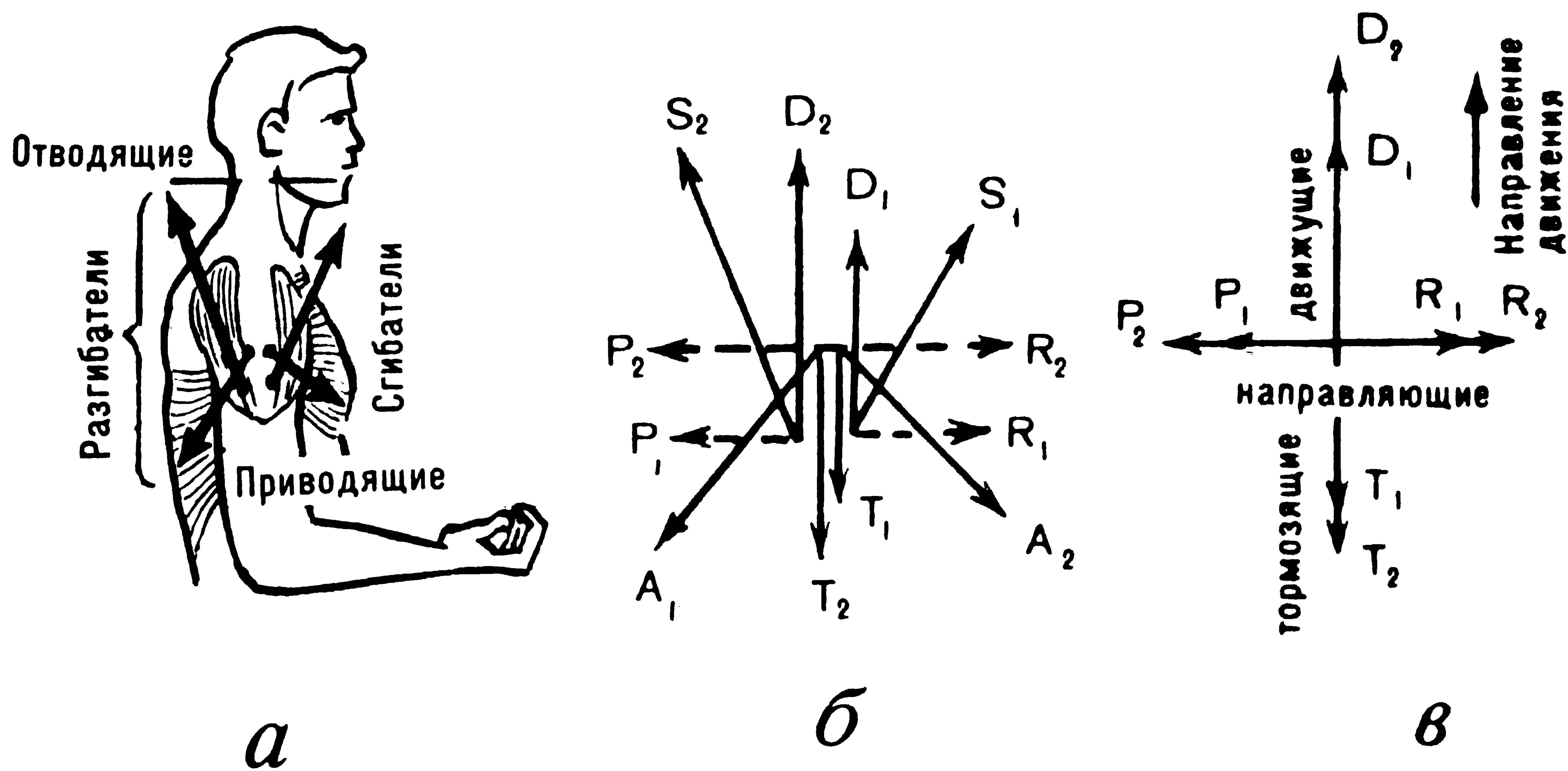


Рис. 21.

Взаимодействие мышц в неодоосном суставе:

а — направление тяги мышц, б — составляющие их тяги, в — суммарные тяги

В многоосных суставах управление движениями — превращение механизма неполносвязного (с многими возможными движениями) в полносвязный (с единственным движением) — осуществляется благодаря следующему взаимодействию функциональных групп мышц (рис. 21). Совместная тяга синергистов ( $S_1$ ,  $S_2$ ) определяет в основном направление движения звена. В то же время их антагонисты ( $A_1$ ,  $A_2$ ), растягиваясь, напрягаются, притормаживают движе-

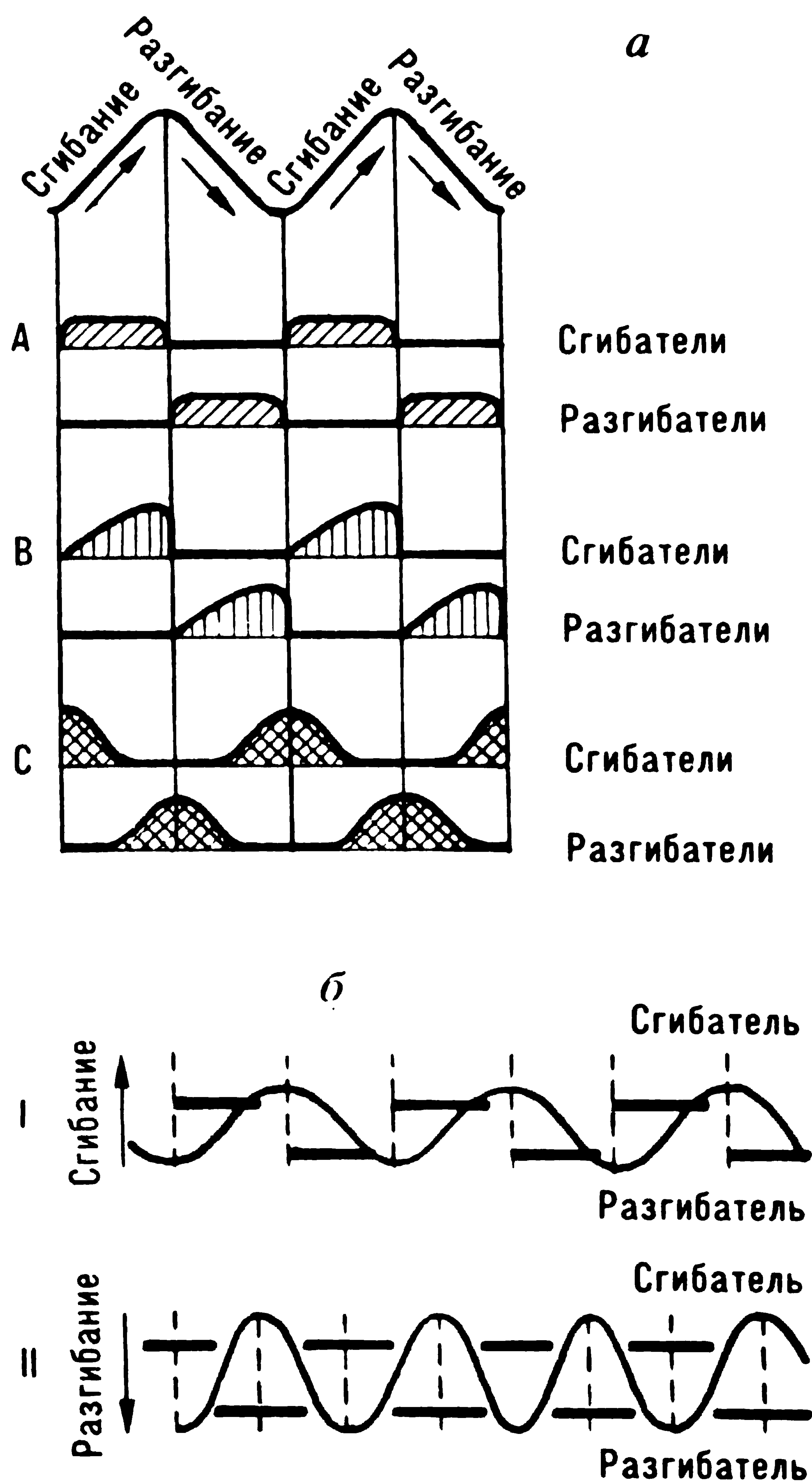


ние. Совместно с синергистами они определяют величину скорости звена. Антагонисты (как и синергисты) обычно имеют направление тяги под углом друг к другу. Поэтому составляющие их тяги, направленные в противоположные стороны ( $P_1, R_1$  и  $P_2, R_2$ ), также участвуют в определении направления движения.

Итак, равнодействующая тяги синергистов — движущая тяга ( $D_1 + D_2$ ), а равнодействующая тяги их антагонистов — тормозящая тяга ( $T_1 + T_2$ ). Результат их совместного действия — ускоряющая тяга — определяет величину скорости как вектора. Равнодействующие всех нормальных составляющих (перпендикулярных к направлению движения) — направляющие тяги ( $P_1 - P_2$  и  $R_1 - R_2$ ) — определяют направление скорости как вектора. Все функциональные группы мышц многоосного сустава, изменяя свои движущие, тормозящие и направляющие тяги, управляют движениями. Неполносвязный механизм сустава благодаря согласованной работе функциональных групп мышц превращается в биодинамически полносвязный механизм (биомеханизм). Величину основных тяг можно постоянно и целенаправленно изменять. Это позволяет непрерывно управлять изменениями направления и быстроты движений.

Когда движение выполняется против постоянного сопротивления (например, силы трения) либо увеличивающегося (например, упругой силы), тормозящее действие антагонистов может отсутствовать (рис. 22, а — А, Б). Ускоряющее же действие синергистов против сил упругости (например, в упражнениях с эспандером) возрастает, а против сил инерции (например, с гантелями) к концу движения уменьшается (см. рис. 22, а — В, С). Поэтому, в частности, упражнения с эспандером и гантелями различаются по характеру работы мышц. При уменьшающемся сопротивлении (например, сила инерции) торможение антагонистов позволяет регулировать быстроту движений и останавливать их в нужный момент.

Влиянием упругих и инерционных сил объясняется разное



**Рис. 22.** Взаимодействие антагонистических пар мышц:

а — при сопротивлениях: А — постоянном; В — уменьшающемся; С — увеличивающемся; б — при темпе: I — медленном; II — быстром (по Вахгольдеру)



согласование тяги синергистов и антагонистов в повторяющихся колебательных движениях разной частоты. В медленных движениях работа мышц противоположной тяги чередуется (рис. 22,б). Мышца-антагонист, напрягаясь, тормозит движение и, остановив звено, став синергистом, способствует движению в обратную сторону. С увеличением частоты движений активность мышц смещается во времени и постепенно все больше совпадает.

Распределение усилий в группе мышц данного сустава по ходу движения изменяется. Следует добавить, что практически невозможна совершенно точная дозировка величины тяги каждой мышцы, быстроты нарастания тяги, времени «включения» и «выключения» мышцы. Поэтому всегда в той или иной степени возникают рассогласования тяг мышц, что является одной из главных внутренних помех в управлении движениями. Научиться преодолевать рассогласования тяг мышц очень непросто. Это одна из главных задач при овладении движениями, путь к наибольшей экономичности и точности движений.

## БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Для изучения опорно-двигательного аппарата человека как биомеханической системы необходимо последовательно рассмотреть строение этой системы и ее свойства. С точки зрения биомеханики опорно-двигательный аппарат — это управляемые биокинематические цепи (звенья и их соединения), оснащенные группами мышц. Вместе они выполняют задаваемые движения как биомеханизм.

### § 19. Строение биомеханической системы

Самой характерной чертой строения биомеханической системы считается его переменный характер. И число движущихся звеньев, и степени свободы движений, и состав мышечных групп, и их взаимодействия переменны.

#### 19.1. Звенья биокинематических цепей

*Биокинематические цепи опорно-двигательного аппарата состоят из подвижно соединенных звеньев (твердых, упругих и гибких) и отличаются их переменным составом, своей длиной и формой (составные рычаги и маятники).*

Фиксирование суставов (блокада) и их освобождение (снятие динамических связей — тяги мышц) изменяют число движущихся звеньев в цепи. Она может превратиться как бы в одно звено или сохранять движение в части сочленений или во всех сочленениях.

Расстояние по прямой от проксимального сочленения до конца открытой цепи при ее сгибании-разгибании изменяется. Многозвенные маятники поэтому имеют переменную длину. Это влияет на величину инертного сопротивления (изменения момента инерции).

Биокинематические цепи, замыкаясь геометрически (связыванием между собой концевых звеньев), изменяют свои свойства (передача усилий, возможности управления). В частности, возникают составные



рычаги со сложной передачей тяг многосуставных мышц. Твердые звенья (кости), упругие (мышцы) и гибкие (связки, сами мышцы и их сухожилия), изменяя степень и характер своего участия в движениях, обеспечивают многообразные возможности движений.

### 19.2. Механизмы соединений

*Механизмы соединений звеньев в биомеханических цепях и неодносочленениях позволяют определять требуемое движение благодаря образованию биодинамически полносвязного механизма.*

Биодинамически полносвязный механизм (биомеханизм) характеризуется исключением лишних в данном движении степеней свободы. Тяги групп мышц обеспечивают требуемое направление движений звеньев в биокинематических цепях и регулирование их скоростей. Кроме этого, мышцы при необходимости ограничивают и размах движений, затормаживая звенья раньше, чем наступает пассивное ограничение (костно-суставно-связочное).

Направление движений, скорости звеньев и размах движений в ряде суставов взаимосвязаны благодаря совместному действию многосуставных мышц.

### 19.3. Мышечные синергии

Мышечные тяги в биокинематических цепях складываются в мышечные синергии — согласованные тяги группы мышц переменного действия, управляющие группой звеньев.

С одной стороны, мышцы и з м е н я ю т свое действие по ходу движения, действие их переменное. С другой стороны, в сложных установившихся движениях совместное действие мышц настолько стабильно, что они представляют собой весьма п о с т о я н н ы е устойчивые объединения («двигательные ансамбли», по А. А. Ухтомскому).

Этим обеспечивается управление каждым звеном и всем биомеханизмом в целом в соответствии с решаемой двигательной задачей. Из бесчисленного количества возможных движений выделялись, усовершенствовались и стали применяться лишь немногие, наиболее ц е л е с о о б р а з н ы е. Определяющую роль в этом играют мышечные синергии, находящиеся под контролем и управляемые со стороны нервной системы. Их активность строго согласуется с множеством сил, приложенных к костным звеньям, и направлена на наиболее рациональное использование законов биомеханики для решения задачи двигательного действия.

## § 20. Свойства биомеханической системы

Биомеханическая система характеризуется процессами двигательной деятельности, ее энергообеспечения и управления двигательными действиями. Свойства биомеханической системы позволяют регулировать подвод и расход энергии и управлять движениями в переменных условиях при смене двигательных задач.



## 20.1. Энергетическое обеспечение движений

Механическая энергия биомеханической системы расходуется, с одной стороны, эффективно (на выполнение заданных движений), а с другой — непроизводительно (рассеивание энергии). Она имеет два источника: подводится в систему извне (работа внешних сил) и изнутри (превращение химической энергии в механическую).

При движениях в биомеханической системе происходят деформации: а) *п о з н а я* — перемена позы как взаимного расположения звеньев под действием внутренних и внешних сил; б) *м ы ш е ч н а я* — изменения длины и поперечника мышц при их сокращении и растягивании, напряжении и расслаблении (изменения сократительных и упругих элементов при возбуждении и нагрузках); в) *в н у т р е н н я я* — смещение мягких и жидких тканей при ускорениях, что вызывает появление внутренних сил инерции и трения.

Позная деформация и есть, собственно говоря, те движения, которые необходимы для решения двигательной задачи. На работу по перемещению звеньев тела энергия затрачивается эффективно.

Вследствие затраты работы механических сил на деформации происходит рассеивание (диссипация) энергии: расходование ее на непроизводительную работу против сил трения, упругих, вязких и других сил. При остановке движения напряжением мышц с их последующим расслаблением механическая энергия движения превращается в другие виды энергии без работы внешних сил.

Биомеханические системы получают механическую энергию благодаря приложению внешних сил, а также в результате превращения в мышцах внутренней химической энергии в механическую. Последний источник энергии не обусловлен прямо внешними механическими условиями. И расход, и подвод энергии в биомеханических системах практически возможны без механического воздействия среды. Следовательно, биомеханические системы не изолированные (не замкнутые) системы, в которых сохраняется общее количество механической энергии; они являются открытыми системами, которые обмениваются энергией с окружающей средой.

## 20.2. Приспособительная активность

Приспособительная активность в переменных условиях обуславливает эффективность движений благодаря соответствию нервных импульсов из центральной нервной системы внешнему окружению, начальным условиям движений (тяге мышц, положению и скорости звена), состоянию организма и двигательной задаче.

На биомеханическую систему может воздействовать множество окружающих тел (снаряды, отягощения, партнеры, противники), опора и среда (воздушная, водная). Все эти воздействия (внешние силы) обычно не остаются постоянными, они переменны по своей величине, направлению и месту приложения.

Сами силы мышечных тяг как внутренние активные силы увеличиваются и уменьшаются, изменяются их плечи (плечи сил), вращающие моменты. Поэтому эффект мышечных тяг в суставах не остается



постоянным; совокупность мышечных тяг крайне изменчива. В этих изменениях кроме механических факторов отражается управление движениями со стороны нервной системы.

Пассивные внутренние сопротивления также изменчивы. Это относится к силам упругим, вязким, инерционным, трения, реакциям опоры и др. Особенно велики и переменны по величине и направлению инерционные реактивные силы (центробежные при вращательном движении, инерционное сопротивление и напор звеньев при их разгоне и торможении).

Таким образом, переменные мышечные силы действуют в переменных условиях внешнего воздействия и внутренних сопротивлений, возникающих в самой биомеханической системе.

В абсолютно твердом теле ускорение всего тела, всех его частиц возникает в момент приложения силы. В упругом же теле механический эффект передается всем его частицам лишь с течением времени, т. е. происходит *з а п а з д ы в а н и е э ф ф е к т а*. Скорость деформации обусловлена упругостью, расположением звеньев тела в суставах, приложенными силами и другими причинами.

Все факторы, вызывающие запаздывание механического эффекта в ответ на воздействия (механические и физиологические) непостоянны, они могут изменяться в широких пределах и в кратчайшее время. Поэтому величины общего запаздывания (сумма времени запаздываний разного происхождения) относятся к числу тех, которые нельзя предусмотреть точно.

Запаздывание механического эффекта не исключает того, что благодаря сигнальному значению раздражителей организм заранее подготавливается к будущему воздействию, *о п е р е ж а е т* его.

Вполне определенный эффект движения возможен лишь в том случае, если импульсы из центральной нервной системы будут соответствовать начальным условиям движения — тяге мышц, приложенным силам, положению и скорости звена. Одинаковые нервные импульсы из центральной нервной системы при прочих равных условиях вызывают одинаковые напряжения мышц, а одинаковые напряжения мышц обуславливают одинаковые движения. В принципе это верно, но так как никогда не бывает равных условий, то и однозначной связи между импульсом и движением нет.

Сила тяги мышцы зависит не только от ее возбуждения (результата импульса), но в числе других причин и от ее длины (насколько растянута, как быстро и как давно). Одинаковые импульсы вызывают в мышце при различном растягивании различные силы тяги. Движения звена зависят от многих мышц и, кроме того, от всех других сил, приложенных к звену. Поэтому между силой тяги мышцы и движением звена также нет однозначной связи.

Наконец, при различных начальных положениях и скорости звена даже одно и то же изменение скорости под действием сил (ускорение) обусловит различия в движениях — либо ускорит их, либо замедлит, по-разному изменит их направление.

Таким образом, для соответствия движения двигательной задаче необходимо управлять им с учетом всех условий (внешних и внут-



ренных), что возможно благодаря приспособительной активности нервной системы. Связи между нервным импульсом, силой тяги мышцы и движением звена не однозначны и зависят от множества факторов (Н. А. Бернштейн).

## Глава IV

# БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

## § 21. Геометрия масс тела

Геометрия масс тела (распределение масс тела) характеризуется такими показателями, как вес (масса) отдельных звеньев тела, положение центров масс отдельных звеньев и всего тела, моменты инерции и др.

### 21.1. Общий центр масс тела человека

Вес отдельных звеньев тела зависит от веса тела в целом. Приближенные величины относительного веса звеньев тела (в процентах к весу всего тела) приведены на рис. 23 (числа справа от фигуры человека)<sup>1</sup>. Эти данные пригодны лишь в качестве грубого первоначального

Таблица 2

Коэффициенты уравнений множественной регрессии вида  $y = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2$  для вычисления веса сегментов по длине тела ( $x_2$ ) и весу ( $x_1$ ) (В. М. Зациорский, В. Н. Селуянов)

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	R	$\sigma$
Стопа	—0,829	0,0077	0,0073	0,702	0,101
Голень	—1,592	0,03616	0,0121	0,872	0,219
Бедро	—2,649	0,1463	0,0137	0,891	0,721
Кисть	—0,1165	0,0036	0,00175	0,516	0,0629
Предплечье	0,3185	0,01445	—0,00114	0,786	0,101
Плечо	0,250	0,03012	—0,0027	0,834	0,178
Голова	1,296	0,0171	0,0143	0,591	0,322
Верхняя часть туловища	8,2144	0,1862	—0,0584	0,798	1,142
Средняя часть туловища	7,181	0,2234	—0,0663	0,828	1,238
Нижняя часть туловища	—7,498	0,0976	0,04896	0,743	1,020

Пример: испытуемый весит 70 кг и имеет длину тела 173 см, тогда вес голени равен:

$$y = -1,592 + 0,03616 \times 70 + 0,0121 \times 173 = 3,03 \text{ кг,}$$

R — множественный коэффициент корреляции,

$\sigma$  — стандартная ошибка уравнения регрессии.

<sup>1</sup> До недавнего времени данные о геометрии масс тела человека получались с очень небольшой точностью, в основном на основе экспериментов на трупах. В лаборатории биомеханики ГЦОЛИФКа разработан радиоизотопный метод прижизненного определения геометрии масс тела, обеспечивающий достаточно высокую точность. Все данные, приведенные здесь, получены этим методом на 100 испытуемых.



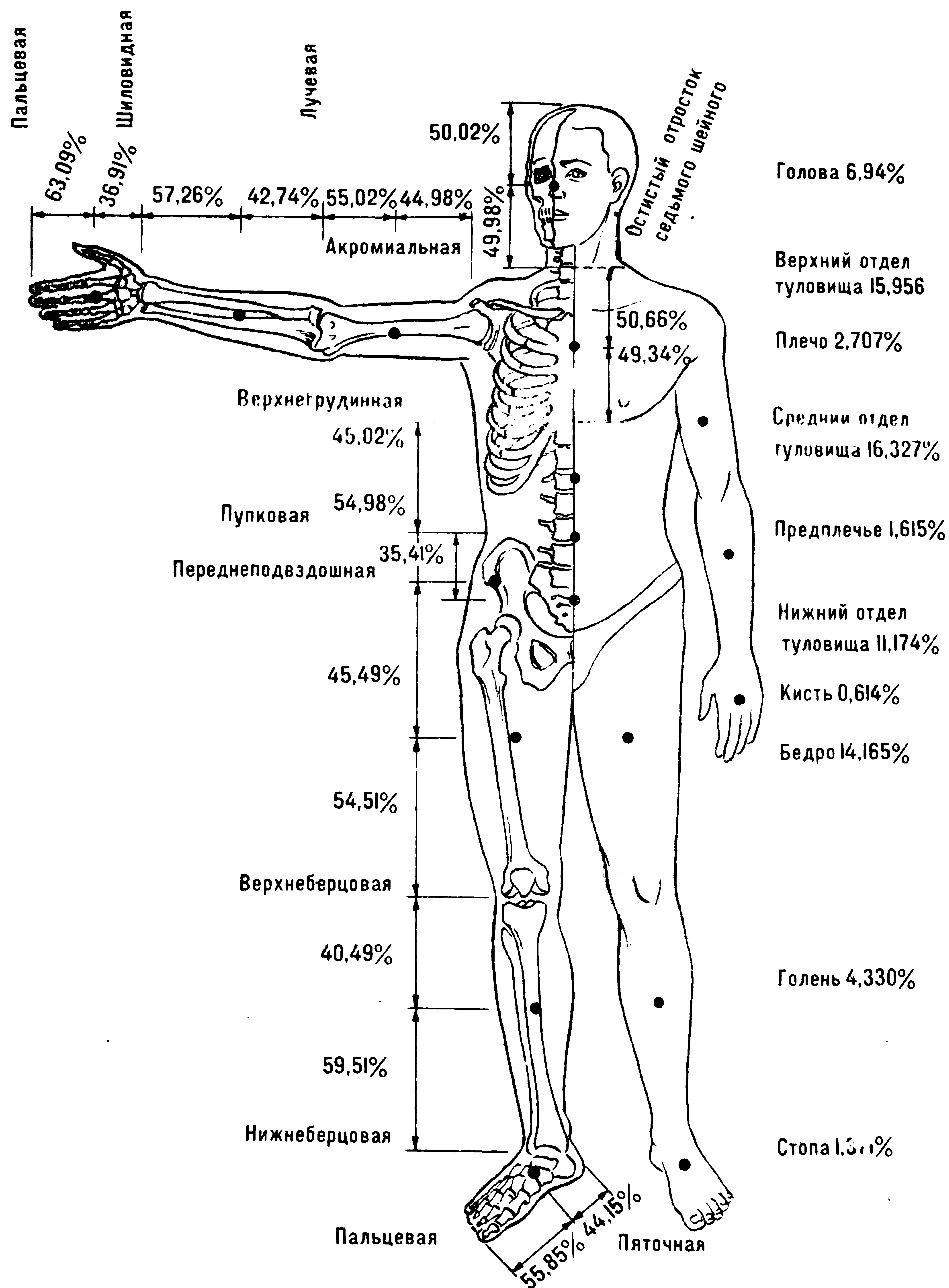


Рис. 23.

Относительные веса и положения ЦМ отдельных звеньев тела

чального ориентира: относительный вес отдельных звеньев тела непостоянен. Например, если человек, весивший 60 кг, затем, поправившись, стал весить 90 кг, то это не означает, что все звенья его тела, в частности стопы, кисти, голова, стали тоже в 1,5 раза тяжелее. Более точно можно определить вес отдельных звеньев тела, используя уравнения регрессии, приведенные в табл. 2

Центр масс твердого тела является вполне определенной фиксированной точкой, не изменяющей своего положения относительно



тела. Центр масс системы тел может менять свое положение, если изменяются расстояния между точками этой системы.

В биомеханике различают центры масс отдельных звеньев тела (например, голени или предплечья) и центр масс всего тела.

У человека, стоящего в основной стойке, горизонтальная плоскость, проходящая через ОЦМ, находится примерно на уровне второго крестцового позвонка. В положении лежа ОЦМ смещается в сторону головы примерно на 1% у женщин он расположен в среднем на 1—2% ниже, чем у мужчин; у детей-дошкольников он существенно выше, чем у взрослых (например, у годовалых детей в среднем на 15%).

При изменении позы ОЦМ тела, естественно, смещается и в некоторых случаях, в частности при наклонах вперед и назад, может находиться вне тела человека — рис. 24.

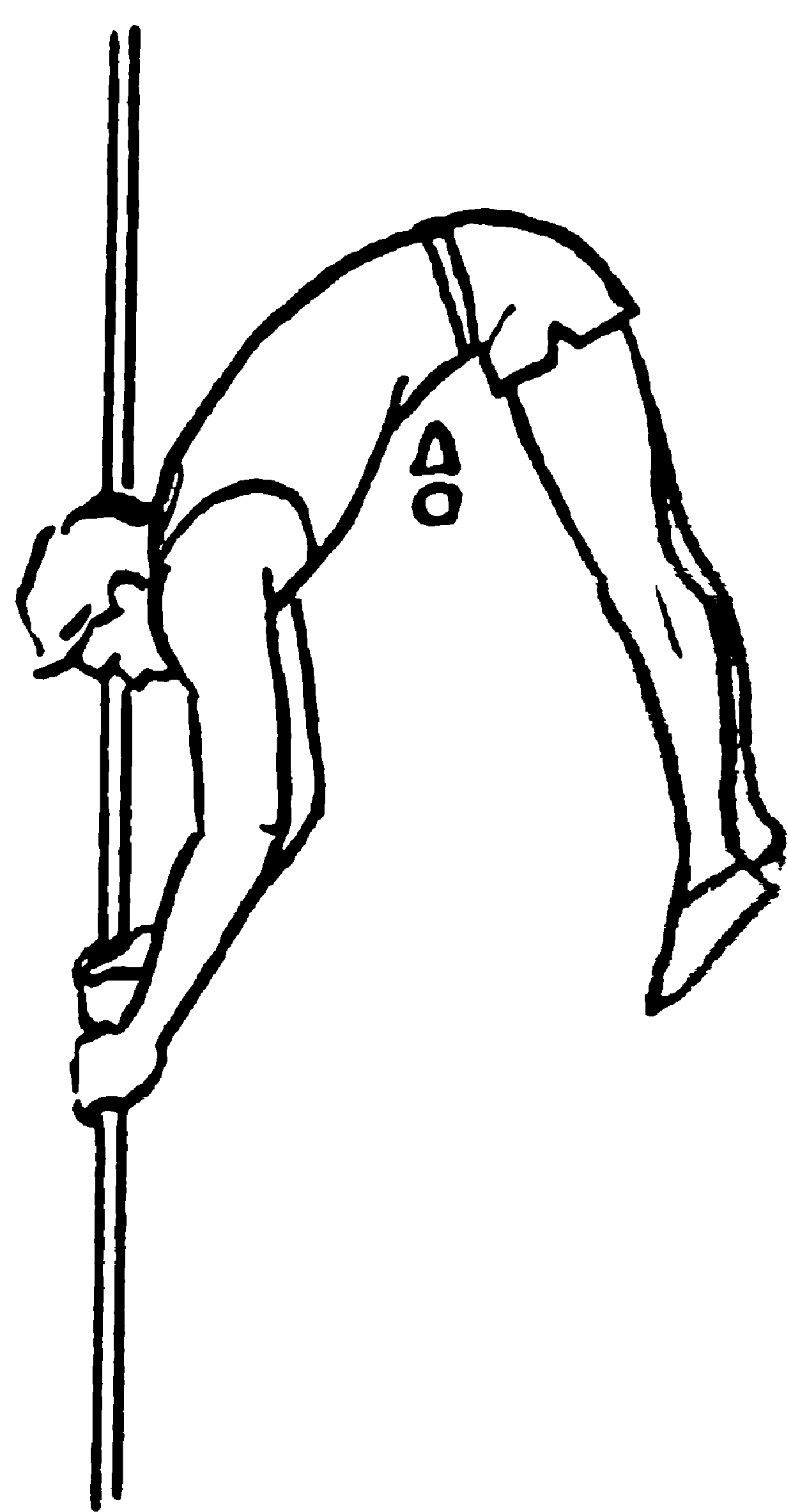


Рис. 24.

Положение ЦМ тела спортсмена при переходе через планку в прыжке с шестом

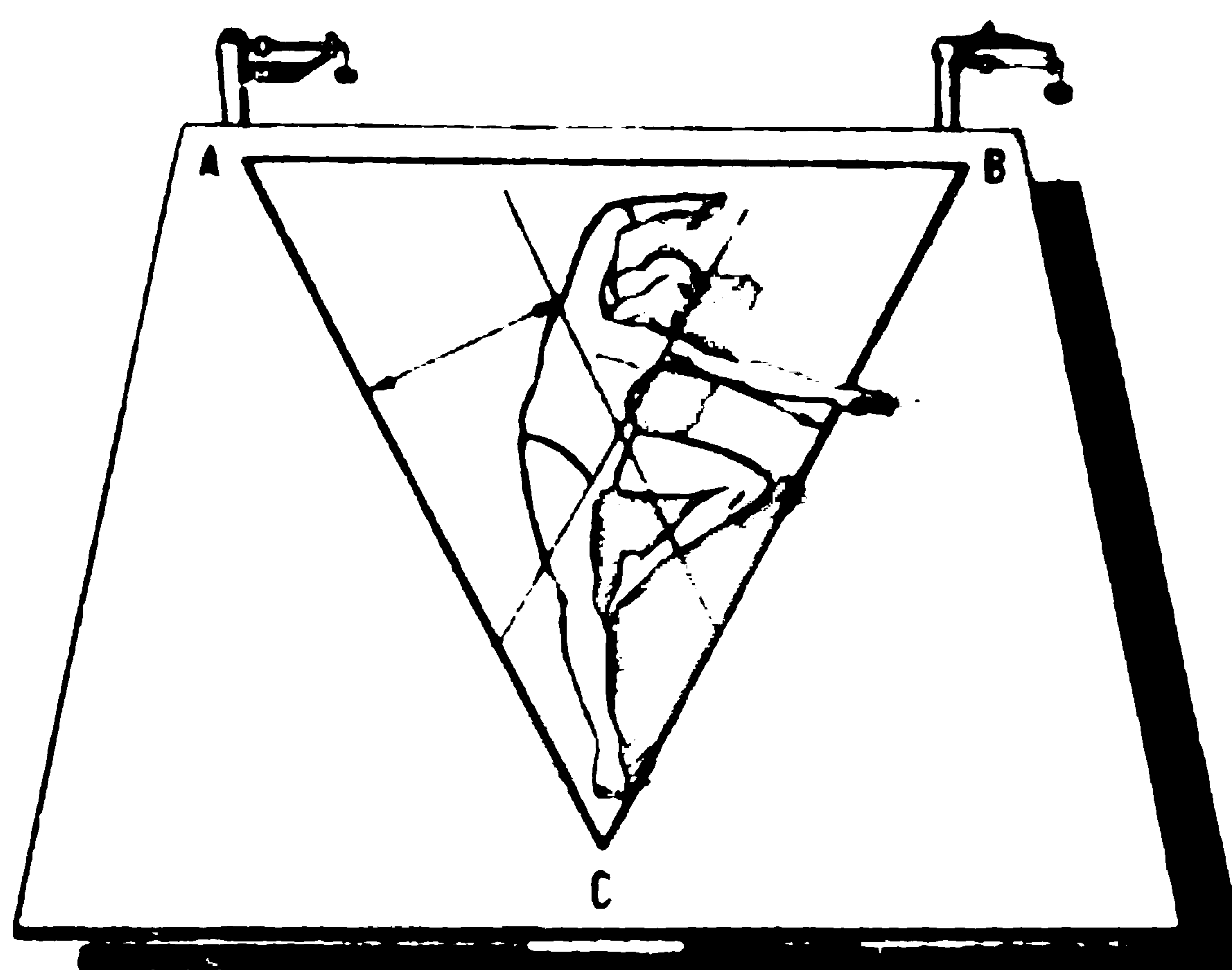


Рис. 25.

Экспериментальное определение положения ЦМ

Чтобы определить положение ОЦМ тела, используют либо экспериментальные, либо расчетные методы. Одним из наиболее простых экспериментальных методов является взвешивание человека в избранной позе на специальной платформе, имеющей три точки опоры. Одна из них покоится на неподвижном основании, а две другие — на весах (рис. 25). Показания весов (без человека)  $F_{A_1}$  и  $F_{B_1}$  указывают величину давления на весы самой платформы. Взвесив человека, определяют показания весов  $F_{A_2}$  и  $F_{B_2}$ . Рассматривая по очереди линии AC и BC как оси вращения, можно написать уравнения моментов для системы, находящейся в равновесии. Отсюда:

$$x = \frac{(F_{B_2} - F_{B_1})h}{P},$$

$$y = \frac{(F_{A_2} - F_{A_1})h}{P},$$

где  $x$  и  $y$  — координаты (см. рис. 25),  $P$  — вес тела,  $h$  — высота равно-  
стороннего треугольника ABC.



Гораздо чаще, чем экспериментальные, используют расчетные методы. Чтобы определить расчетным путем координаты ЦМ тела в любой позе, надо знать: 1) положение отдельных звеньев тела, 2) вес отдельных звеньев тела и 3) положение ЦМ отдельных звеньев тела.

Положение отдельных звеньев тела определяют по кинограммам, фотографиям или каким-либо другим способом (например, с экрана видеоманитофона); вес — по уравнениям, приведенным в табл. 2. Что касается ЦМ отдельных звеньев, то считают, что они расположены на продольных осях, соединяющих центры суставов. На рис. 23 слева обозначены расстояния между осями суставов (табл. 3) и центрами

Т а б л и ц а 3

Антропометрические признаки, от которых определяется положение центра тяжести сегментов тела человека

Сегмент	Антропометрический признак, от которого производится определение положения центра масс сегмента
Стопа	Наиболее выступающая точка передней части стопы (обычно большой палец) — пальцевая точка
Голень	Верхнеберцовая
Бедро	Передняя подвздошноостистая
Кисть	Пальцевая — средний палец руки, кисть выпрямлена
Предплечье	Шиловидная
Плечо	Лучевая
Голова	Верхушечная
Верхняя часть туловища	Остистый отросток седьмого шейного позвонка
Средняя часть туловища	Нижнегрудинная
Нижняя часть туловища	Пупковая (верхний край)

масс звеньев. Для определения положения ЦМ тела расчетным путем чаще всего используют теорему Вариньона: сумма моментов сил относительно оси равна моменту равнодействующей силы относительно этой оси.

В настоящее время разработаны методы автоматического расчета положения ЦМ тела отдельных звеньев: ЭВМ сама рисует контурные изображения спортсмена (ЭВМ-кинетограммы), обозначая на них положения ЦМ (рис. 26).

## 21.2. Моменты инерции тела

Как известно (см. гл. II), момент инерции системы материальных точек относительно оси вращения равен сумме произведений масс этих точек на квадраты их расстояний до оси вращения:

$$I = \sum m_i r_i^2.$$

Центральным моментом инерции называется момент инерции относительно оси вращения, проходящей через ЦМ. Момент инерции относительно оси, параллельной центральной, можно рассчитать по формуле:

$$I_x = I_c + ml^2,$$

где  $I_x$  — искомый момент,  $I_c$  — центральный момент инерции,  $m$  — масса звена,  $l$  — расстояние от оси вращения до центра масс (теорема Гюйгенса — Штейнера).



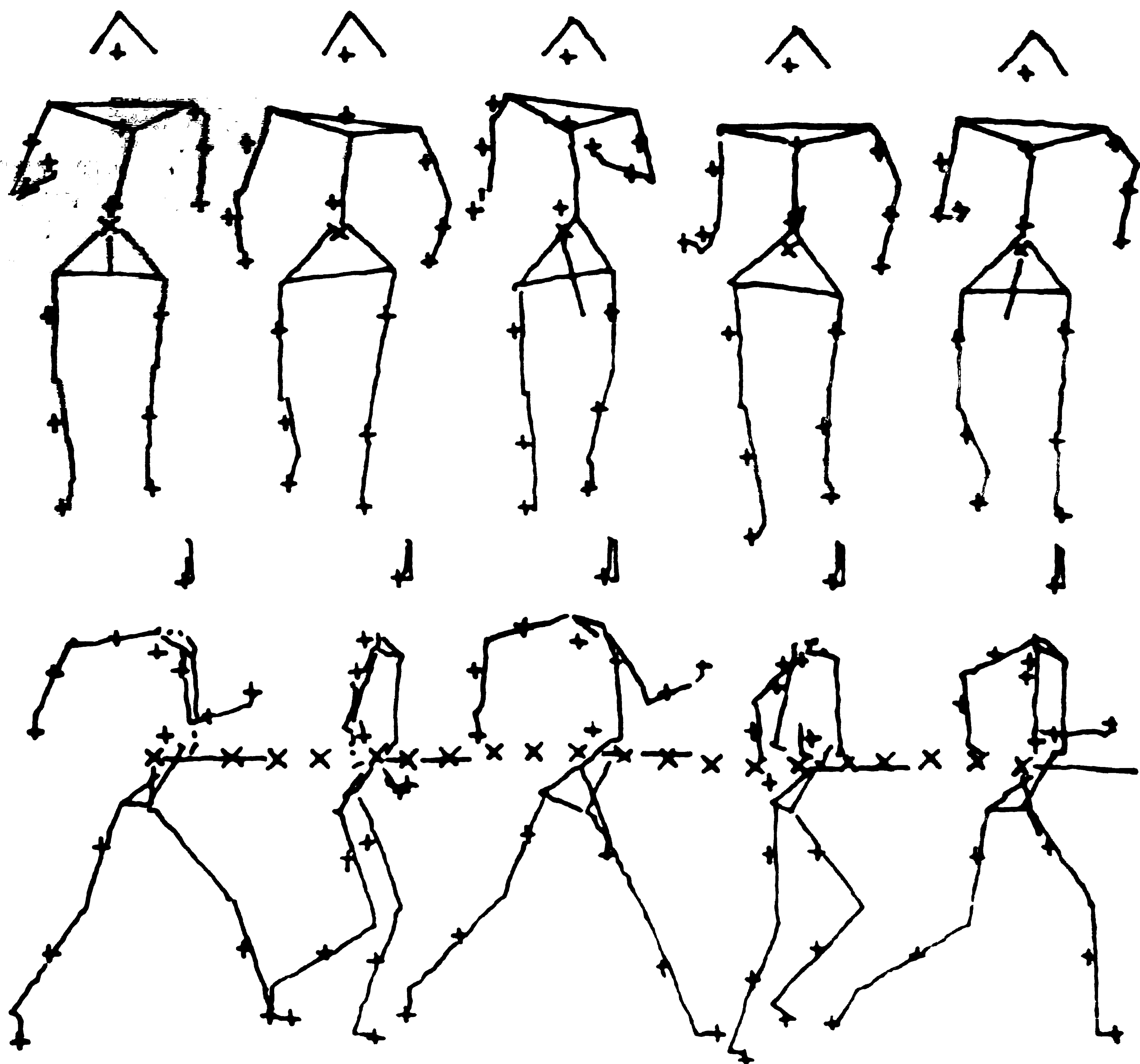


Рис. 26.

ЭВМ-кинетограмма с выведенными на нее положениями ЦМ отдельных звеньев тела (+) и ОЦМ (x) (по С. Ю. Алешинскому, В. Н. Селуянову, В. В. Тюпе)

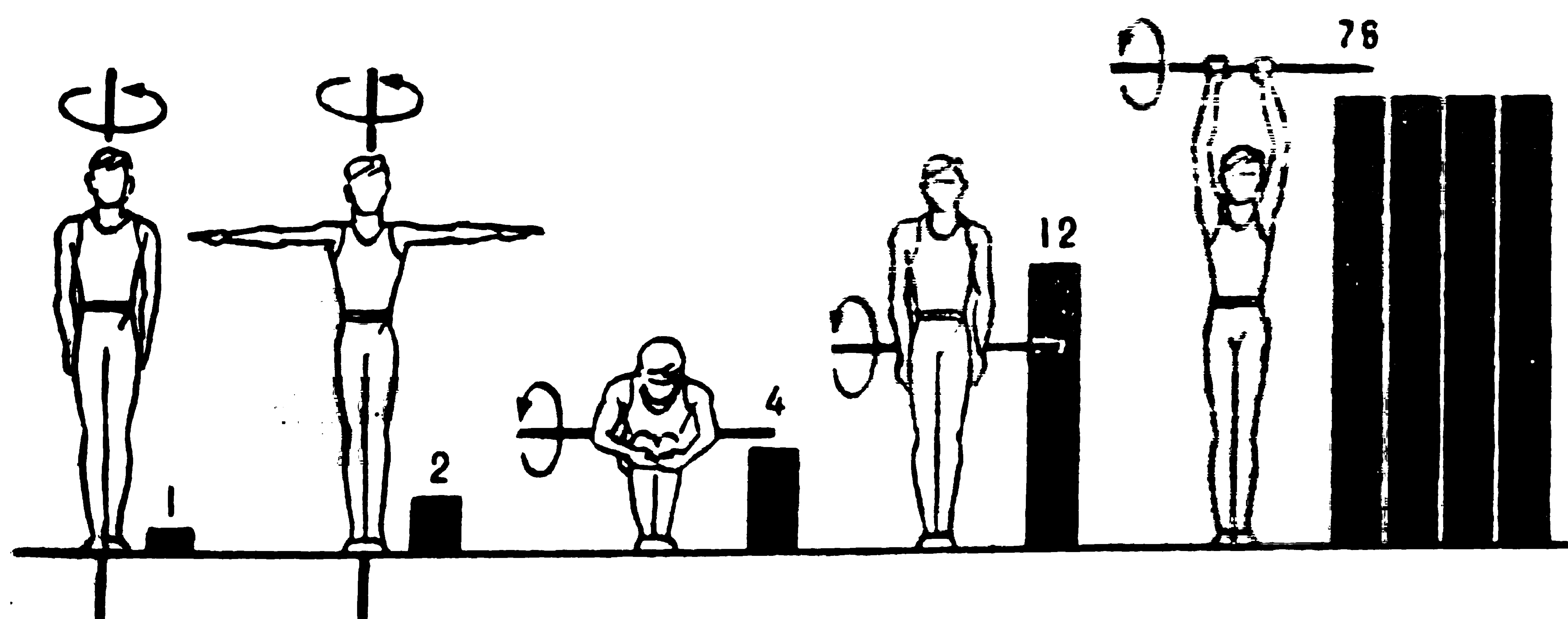


Рис. 27.

Моменты инерции тела человека в разных позах относительно разных осей



Момент инерции всего тела зависит от позы тела и оси вращения (рис. 27). Изменением позы можно очень сильно изменить момент инерции. Например, группировка при выполнении сальто уменьшает момент инерции по сравнению с прямым положением тела примерно в три раза.

Уравнения регрессии для расчета моментов инерции отдельных звеньев тела приведены в приложении.

### 21.3. Центр объема и центр поверхности тела

К показателям геометрии масс тела относят также центр объема тела и центр поверхности тела. Центр объема тела — точка приложения равнодействующей силы гидростатического давления (сил Архимеда). Поскольку плотность тела человека неодинакова (в частности, легкие занимают большой объем, а весят очень мало), центр объема тела не совпадает с его общим ЦМ и в положении человека стоя находится на 2—6 см выше ОЦМ. Взаимоположение центра объема и ОЦМ влияет на условия равновесия тела в воде.

Центр поверхности тела — точка приложения равнодействующей сил действия среды (воздуха, воды). Центр поверхности тела зависит от позы и направления потока среды. При больших скоростях полета (прыжки с парашютом, прыжки на лыжах), когда силы сопротивления воздуха велики, относительное положение центра поверхности и ОЦМ тела влияет на сохранение равновесия.

## § 22. Составные движения в биокинематических цепях

В биокинематических цепях тела человека движение может передаваться от звена к звену. Скорость, например, кисти при броске мяча может быть результатом движений ног и туловища, а также движений в суставах руки. Движение кисти в этом случае как бы составляется из движений других звеньев тела. Движение, обусловленное движениями ряда звеньев, в биомеханике называют составным<sup>1</sup>

### 22.1. Составляющие составного движения

*Составное движение образуется из нескольких составляющих движений звеньев в сочленениях биокинематической цепи.*

В простейших случаях в механике складываются два поступательных движения двух тел (рис. 28, а).

Когда в составном движении принимают участие два тела, то обычно составляющие движения называют переносными и относительными. На рис. 28, а платформа как бы переносит на себе движение по ней груза; движение платформы переносное. Движение же груза по платформе относительно системы отсчета, связанной с самой платформой, относительное. Тогда движение груза в непод-

<sup>1</sup> В механике принято называть сложным (или составным) движением одного тела сумму одновременных простейших — поступательного и вращательного. За таким движением в курсе биомеханики остается наименование «сложное».



вижной системе отсчета (Земля) результирующее: это результат двух составляющих движений.

В теле человека таких движений не бывает, так как почти во всех суставах звенья движутся вокруг осей сочленений. В биокинематических цепях обычно движется много звеньев; одни «несут» на себе движения других (несущие и несомые движения). Несущее движение (например, мах бедром при выносе ноги в беге) изменяет несомое (сгибание голени).

При движениях в незамкнутой кинематической цепи угловые перемещения, скорости и ускорения, если они направлены в одну сторону, складываются. Разнонаправленные движения не складываются, а вычитаются (суммируются алгебраически).

Сложнее составные движения, в которых составляющие движения вращательные (по дуге окружности) и поступательные (вдоль радиуса) (рис. 28, б).

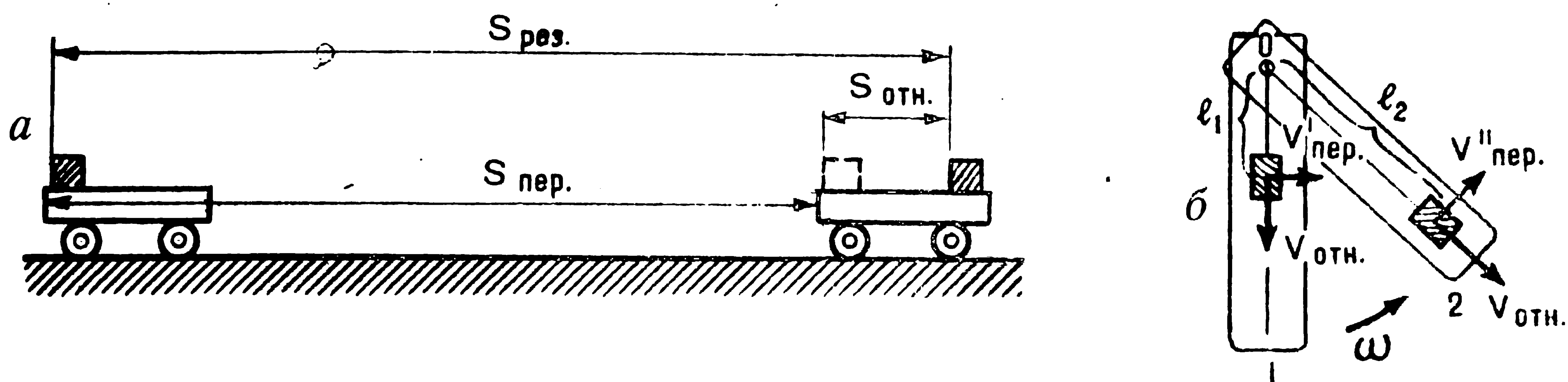


Рис. 28.

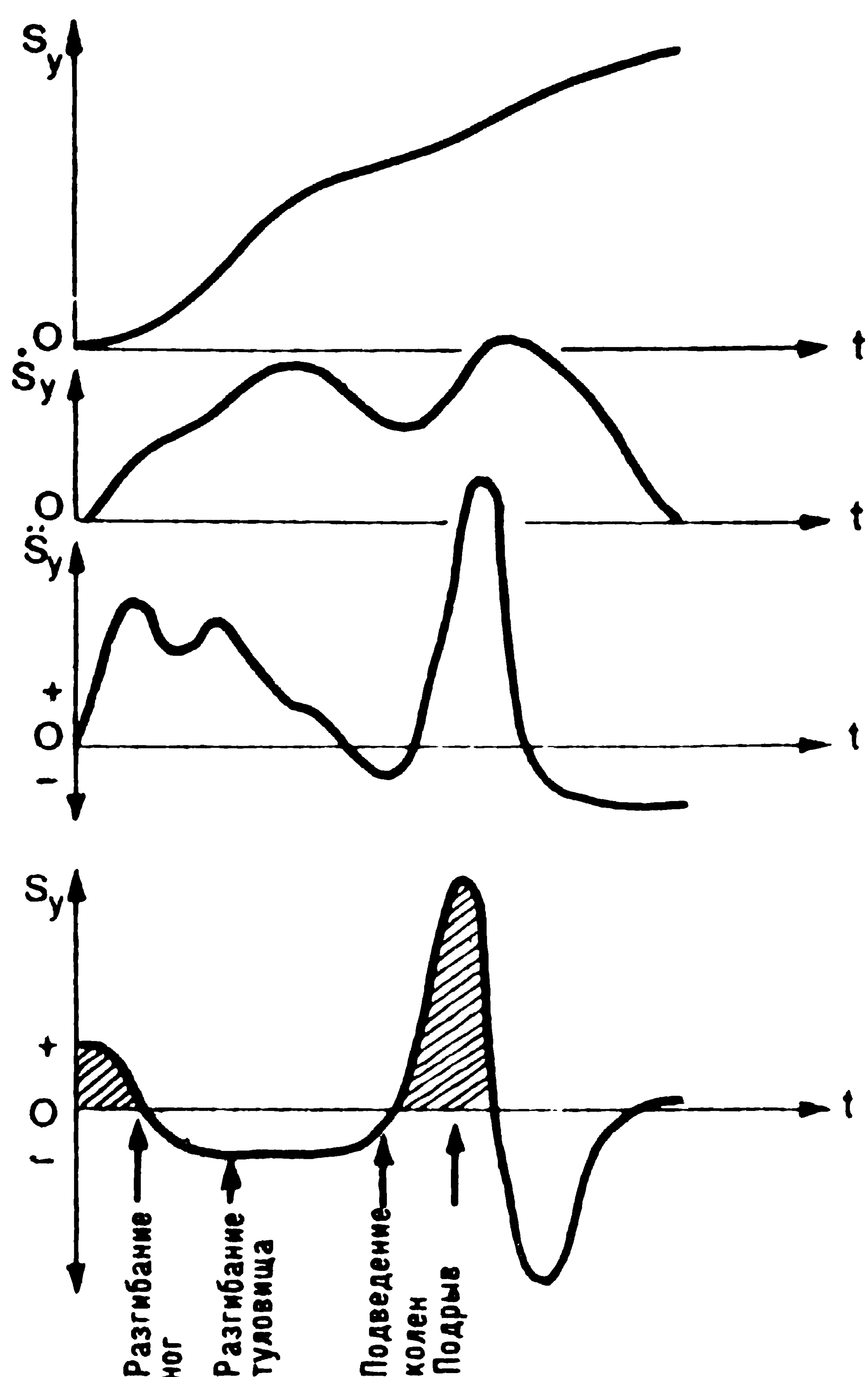
Составные движения:

а — два поступательных, б — вращательное и поступательное

В составном движении, образованном из вращательных составляющих движений (в биокинематической цепи), вследствие суммирования равнонаправленных и вычитания разнонаправленных движений в разных суставах всегда происходит прибавление движения и вдоль радиуса (поступательное). Значит, биокинематическая цепь (по прямой линии — от ее начала до конца) укорачивается или удлиняется (например, при махе рукой, ногой в прыжках). На рис. 28, б груз переместился по пластине на расстояние  $l_2$  от оси 0 — в два раза дальше от оси, чем в положении 1 ( $l_1$ ). Линейная скорость его переносного вращательного движения стала в два раза больше. Вектор  $\vec{v}$  груза повернулся в сторону вращения. Эти два изменения скорости обусловлены ускорением Кориолиса. Когда биокинематическая цепь укорачивается, кориолисово ускорение звеньев, приближающихся к оси вращения, направлено навстречу вращению, а когда удлиняется, — в сторону вращения. От кориолисова ускорения зависит убыстрение и замедление углового поворота (см. гл. VII), что можно объяснить появлением кориолисовых сил инерции.

В биокинематических цепях с большим числом степеней свободы движений кинематика очень сложна. Каждое движение в сочленениях незамкнутой цепи (например, свободной конечности) влияет на траектории, скорости и ускорения более отдаленных звеньев. В этих случаях характеристики составных движений проще регистрировать, чем рассчитывать. Чаще всего определить их заранее нельзя: слишком





**Рис. 29.**

Положение ( $S_y$ ) штанги по вертикали, ее скорость ( $\dot{S}_y$ ), ускорение ( $\ddot{S}_y$ ) и резкость ( $\dddot{S}_y$ ) во время тяги; резкость при подрыве наибольшая (по И. П. Жекову)

вах по «принципу колеса», т. е. делать неограниченный поворот вокруг оси сустава в одну сторону. Поэтому почти все движения имеют возвратный характер. Возвратно-вращательные движения напоминают движения маятника вокруг оси, расположенной поперек биокинематической цепи (сгибание-разгибание) или продольно (супинация-пронация).

Определенное согласование вращательных движений в различных суставах биокинематической цепи позволяет конечным звеньям двигаться поступательно (кисть боксера при вращательных движениях в плечевом и локтевом суставах; туловище бегуна при отталкивании ногой). Пример возвратно-поступательного движения — работа пилой, напильником. В этих случаях угловые скорости противоположно направленных движений одинаковы (пара скоростей).

Наконец, в шаровидных суставах возможно сложное круговое движение, когда продольная ось звена описывает коническую поверхность. При этом согласуются два движения: самой продольной оси и звена вокруг этой оси. Только такое конусообразное движение и может выполняться без обязательных возвратных движений.

уж много возможных вариантов. В процессе тренировки происходит согласование движений звеньев, необходимое для достижения цели, обеспечивается необходимая плавность и рациональная форма траекторий, происходит согласование величины и направлений скоростей; регулируется быстрота нарастания и снижения ускорений<sup>1</sup>. Последнее определяет резкость движений и зависит от быстроты увеличения и ослабления усилий (рис. 29). Одновременно ритмы движений звеньев и цепей согласуются в общий ритм действия. Происходит сложная интеграция движений биомеханической системы посредством процесса управления движениями.

## 22.2. Движения биокинематических цепей

*В зависимости от направления скоростей движения звеньев тела человека могут быть возвратно-вращательными, возвратно-поступательными и круговыми.*

Строение сочленений не позволяет совершать движения в суста-

<sup>1</sup> Это третья производная по времени от координаты  $S$  — быстрота изменения ускорения, зависящая от изменения усилия.



В возвратных движениях имеется критическая точка, в которой происходит смена направления движения (амортизации на отталкивание — в беге, заноса весла на гребковое движение — в гребле, замаха ракеткой на ударное движение — в теннисе). В каждом суставе направления и размах движений ограничены. Значит, звено в суставе может занимать не любое, а лишь анатомически возможное положение. Однако из бесчисленного множества возможных движений только малая часть вызвана потребностями человека и отвечает энергетическим требованиям. Эти движения отобраны и закрепились в человеческой практике как наиболее рациональные, стали привычными и общеупотребительными.

### 22.3. Динамика составных движений

В динамике абсолютно твердого тела действие силы рассматривается как причина изменения движения. Однако если силы уравновешены, то изменения движения не произойдет. В деформируемом теле возникает при этом деформация и связанное с ней изменение напряжения внутри тела (статическое действие).

*Сила, действующая статически, уравновешена другой силой и вызывает не ускорение, а только деформацию тела. Силу, действующую статически, измеряют уравновешивающей ее силой.* Если на данное тело  $M$  действуют с одинаковыми силами  $\bar{F}_A$  и  $\bar{F}_B$  два тела  $A$  и  $B$  (рис. 30,  $a$ ), то эти силы взаимно уравновешиваются. Обе силы

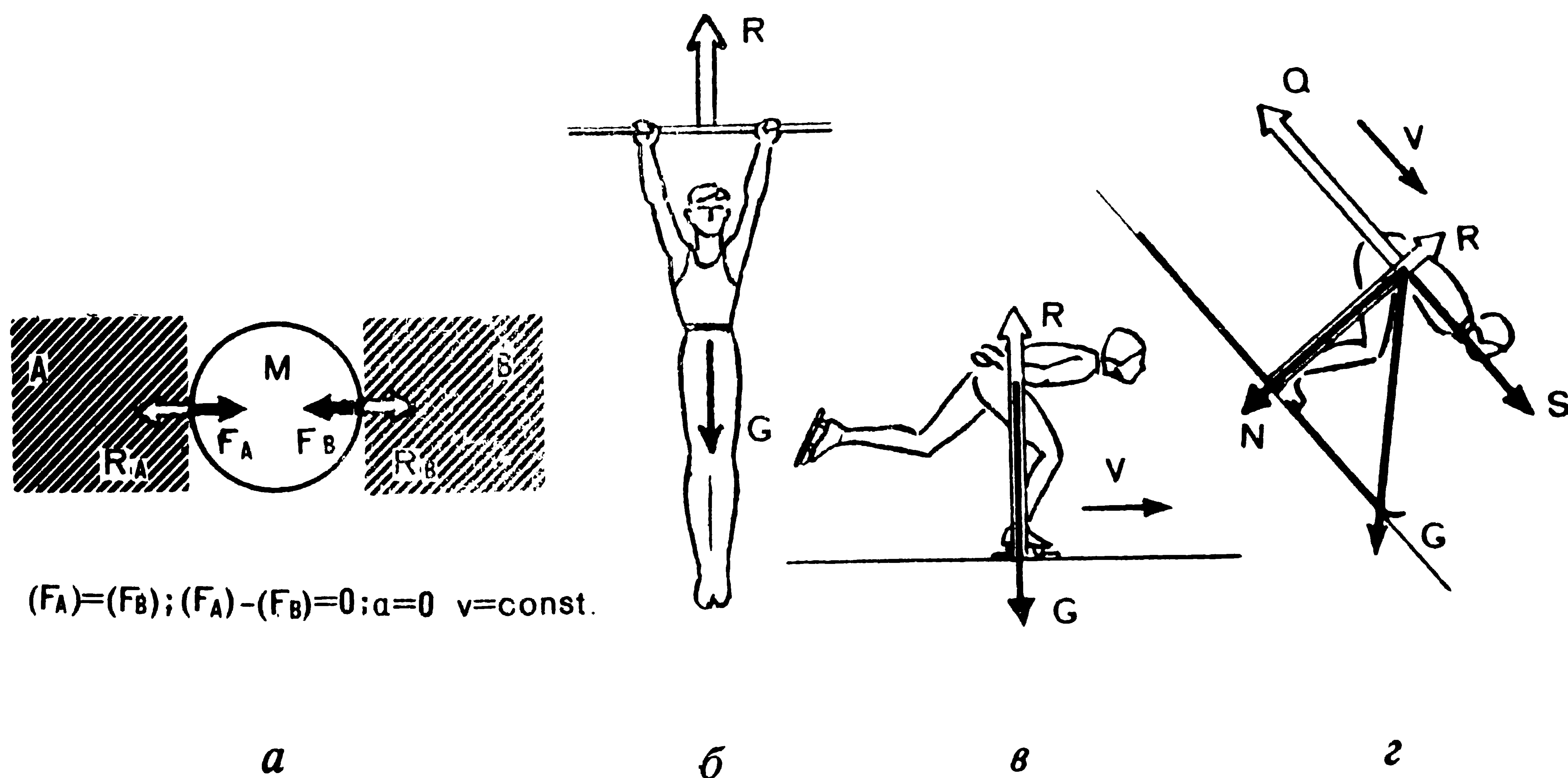


Рис. 30.

Статистическое действие силы:

$a$  — уравновешивание сил  $F_A$  и  $F_B$ ;  $b, в, г$  — уравновешивание силы тяжести;  $b$  — в покое;  $в, г$  — в движении

действуют с т а т и ч е с к и, ускорения нет, скорость тела  $M$  не изменяется. Каждая из этих сил (действие) имеет равное и противоположное противодействие (реакции  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$ ). В случае уравновешивания имеются три тела ( $M, A, B$ ) и два взаимодействия. Следует подчеркнуть, что уравновешиваются  $\bar{F}_A$  и  $\bar{F}_B$ . Соответствующие



действия и противодействия  $\bar{F}_A$  и  $\bar{R}_A$ , а также  $\bar{F}_B$  и  $\bar{R}_B$  не уравниваются, так как они приложены к разным телам.

Как показано на рис. 30, б, силы могут действовать статически в покое (реакция опоры  $\bar{R}$  уравнивает силу тяжести гимнаста  $\bar{G}$ ), а также (рис. 30, в) в движении, направленном перпендикулярно к уравнивающей силе (реакция опоры  $\bar{R}$  уравнивает силу тяжести скользящего конькобежца  $\bar{G}$ ), и в движении по направлению уравнивающей силы (сопротивление воздуха и трение лыж о снег  $\bar{Q}$  уравнивают при постоянной скорости спуска скатывающую составляющую  $\bar{S}$  силы тяжести лыжника  $\bar{G}$  — рис. 30, г). Реакция опоры  $\bar{R}$  уравнивает нормальную составляющую ( $\bar{N}$ ). Уравновешенная сила независимо от покоя или направления движения сама по себе не изменяет скорости тела.

Во всех случаях уравновешенная сила обуславливает только деформацию того тела, к которому она приложена. Нелишне заметить, что при взаимном уравнивании статически действуют обе силы.

Сила, действующая динамически, не уравновешена другой силой. Она вызывает ускорение, а также деформацию тела, к которому приложена. Такую силу измеряют по изменению движений тела, к которому она приложена, но при этом обычно не определяют затрат работы на деформацию.

Сила  $\bar{F}_{дв}$ , приложенная к телу М (рис. 31), вызовет ускорение, зависящее от массы этого тела. Однако в реальных условиях необходимо учитывать, что всегда существуют другие тела (Земля, среда — воздух, вода и пр.), которые могут оказывать тормозящее действие. Поэтому в принципе и здесь не будет взаимодействия только

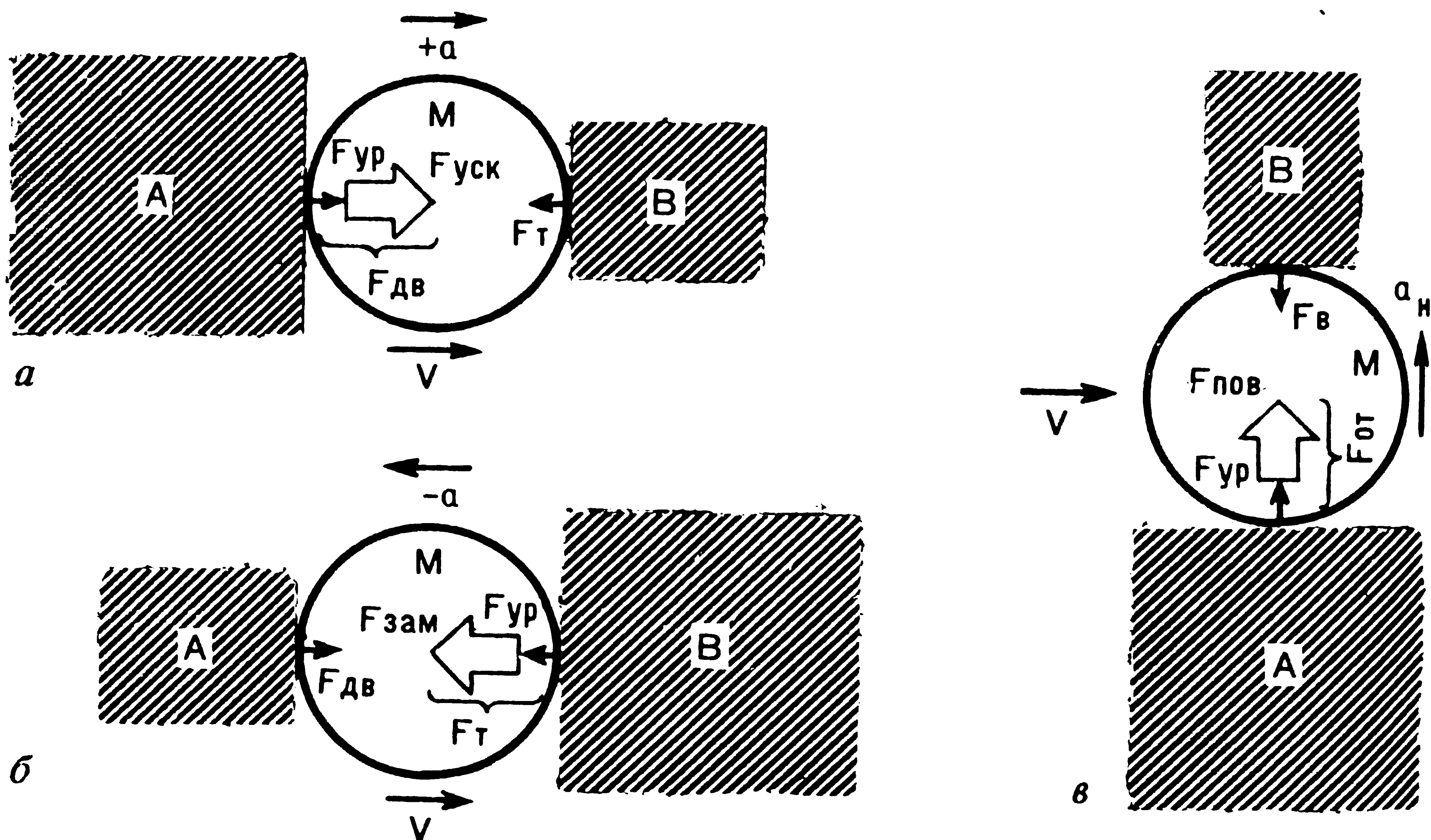


Рис. 31.

Динамическое действие силы:

а — ускоряющей, б — замедляющей, в — поворачивающей



двух тел. Сила, действующая динамически (действие), вызывает ускорение и деформацию, а также противодействие ускоряемого тела — силу инерции. Зная массу ускоряемого тела и его ускорение под действием динамической силы, определяют ее величину и направление.

Силы, приложенные к звеньям тела человека, действуя динамически, приводят к различному результату. В зависимости от того, как направлены силы относительно скорости движущегося тела, различают:

— **д в и ж у щ и е** силы, которые совпадают с направлением скорости (попутные) или образуют с ним острый угол и могут совершать положительную работу;

— **т о р м о з я щ и е** силы, которые направлены противоположно направлению скорости (встречные) или образуют с ним тупой угол и могут совершать отрицательную работу;

— **о т к л о н я ю щ и е** силы, перпендикулярные к направлению скорости и увеличивающие кривизну траектории;

— **в о з в р а щ а ю щ и е** силы, также перпендикулярные к направлению движения, но уменьшающие кривизну траектории.

Обе последние группы сил непосредственно не изменяют величину тангенциальной (касательной) скорости.

От соотношения сил, приложенных к каждому звену тела, зависит и результат их действия.

Тормозящие силы имеются всегда. Если движущие силы больше тормозящих, то их разность — **у с к о р я ю щ а я** сила — обуславливает увеличение скорости, сообщает телу положительное ускорение, совершает положительную работу, увеличивает кинетическую энергию тела. Необходимо подчеркнуть, что не вся движущая сила обуславливает ускорение, а только ее избыток над тормозящей силой, т. е. ускоряющая сила. Значит, не вся движущая сила совершает работу по передвижению звеньев. Значительная часть работы переходит в механическую энергию деформации и, кроме того, в немеханические формы энергии (прежде всего в тепловую). Если нет движущих сил (у них нулевая величина — движение происходит по инерции) или они меньше тормозящих, то их разность — **з а м е д л я ю щ а я** сила — уменьшает скорость, обуславливает отрицательное ускорение (замедление). От соотношения отклоняющих и возвращающих сил зависит действие поворачивающей силы, изменяющей кривизну траектории. С уменьшением поворачивающей силы траектория выпрямляется, приближаясь к прямолинейной.

Силы, приложенные к звену в месте контакта с соседним, — **с у с т а в н ы е** силы. Силы, приложенные к звену тела на плече силы, создают относительно оси сустава **с у с т а в н ы е** моменты. Действие их в основном такое же, как и самих сил: ускоряющее, замедляющее, поворачивающее. В конечном счете именно действие суставных сил и суставных моментов сил и вызывает изменение положений тела и изменение движений.

Скорости звеньев изменяются в результате импульсов сил и моментов сил. Множество сил обуславливает для каждого звена в сочленении результирующий импульс момента сил. Каждое звено



изменяет скорость вращения вокруг оси в суставе вследствие именно к нему приложенных сил. Причины движений для каждого звена в биокинематических цепях разные. Именно поэтому в материальной системе при ее разнообразных движениях нельзя найти одну равнодействующую силу, которая заменяла бы для всех звеньев все силы, приложенные к каждому звену. Можно лишь устанавливать равнодействующие силы и моменты сил для каждого звена.

В материальной системе не действуют аксиомы статики о приложении двух равных и противоположных сил и о переносе вектора силы по его направлению. Приложение двух сил или перенос силы вызывает деформацию и изменяет напряжение. Вектор силы в материальной системе не скользящий, а связанный, и поэтому его переносить нельзя. По этой же причине в материальной системе нельзя складывать параллельные силы (тяжести, инерции) и понятия «центр тяжести», «центр инерции» для нее не имеют физического смысла. Однако для расчетов, а также для уяснения характера процессов применяют прием отвердения. Условно считают биомеханическую систему на данный момент времени отвердевшей, превратившейся в одно твердое тело. Тогда можно найти положения ЦМ такими же способами, как центра тяжести твердого тела; можно привести силы к точке; возможен перенос реакции опоры в ЦМ и другие операции. Делаются в биомеханике и иные допущения: множество фактических источников сил сводится к немногим; тело человека рассматривается по редуцированной (сокращенной) схеме (14 или 16 звеньев вместо более 200) и др. Считается, что усилия передаются от одного звена к другому без потерь, в то время как полнота передачи определяется суставной жесткостью, зависящей от мышечных суставных моментов, от напряженности мышц. Делая подобные упрощения, без которых вообще невозможно изучать движения человека, следует ясно понимать характер и степень допущений, чтобы правильно оценивать получаемые результаты.

## § 23. Силы в движениях человека

Все силы, которые приложены к телу человека, делят на внешние и внутренние относительно него. **Внешние** силы вызваны действием внешних для человека тел (опора, снаряды, другие люди, среда и т. п.). Только при их наличии возможно изменение траектории и скорости ЦМ; без них движение ЦМ не изменяется.

**Внутренние** силы возникают при взаимодействии частей тела человека друг с другом. Сами по себе они не могут изменить движения ЦМ, не могут привести все части системы в одинаковые движения. Но только внутренними силами тяги мышц человек управляет непосредственно, вызывая движения звеньев в суставах.

Разделение сил, приложенных к телу человека, на внешние и внутренние относительно. Всегда надо ставить вопрос: по отношению к какому телу или какой системе тел делается это разделение? В биомеханике такой системой, естественно, считают тело человека. Но иногда бывает целесообразно расширить систему (например,



велосипедист — велосипед) или ограничить ее (например, тело прыгуна в воду рассматривают как две связанные подсистемы — верхнюю и нижнюю половины тела по весу; тяги мышц, соединяющих эти подсистемы, можно рассматривать как внешние для них силы).

! Все силы, которые действуют извне на тело человека, возникая при контакте с соответствующими внешними телами (и средой в том числе), — это **к о н т а к т н ы е** силы. Лишь силы тяжести могут действовать на тело человека без контакта, на расстоянии (**д и с т а н т н ы е** силы).

### 23.1. Силы инерции внешних тел

Внешние силы изменяют движения человека, вызывают ускорения — тогда-то и возникают силы инерции.

! *Сила инерции внешнего тела (реальная<sup>1</sup>)* — это мера действия на тело человека со стороны внешнего тела, ускоряемого человеком; она равна массе ускоряемого тела, умноженной на его ускорение:

$$\bar{F}_{ин} = - m\bar{a}.$$

Сила инерции внешнего тела при его ускорении человеком направлена в сторону, противоположную ускорению. Она приложена в месте контакта с ускоряемым телом, в рабочей точке тела человека.

Ускорение может быть положительным; человек увеличивает скорость, например, ядра, толкая его от себя. Тогда сила инерции ядра воспринимается как сопротивление (рис. 32, а). Ускорение может быть отрицательным; человек уменьшает скорость, например, набивного мяча, когда ловит его движением «на себя». Тогда сила инерции мяча воспринимается как его напор (рис. 32, б). Если же ускорение нормальное (центростремительное), человек удерживает, например, диск при его разгоне по криволинейной траектории, тогда центробежная сила инерции диска приложена к руке метателя и воспринимается как тяга — «стремление» диска вырваться из руки по радиусу (рис. 32, в).

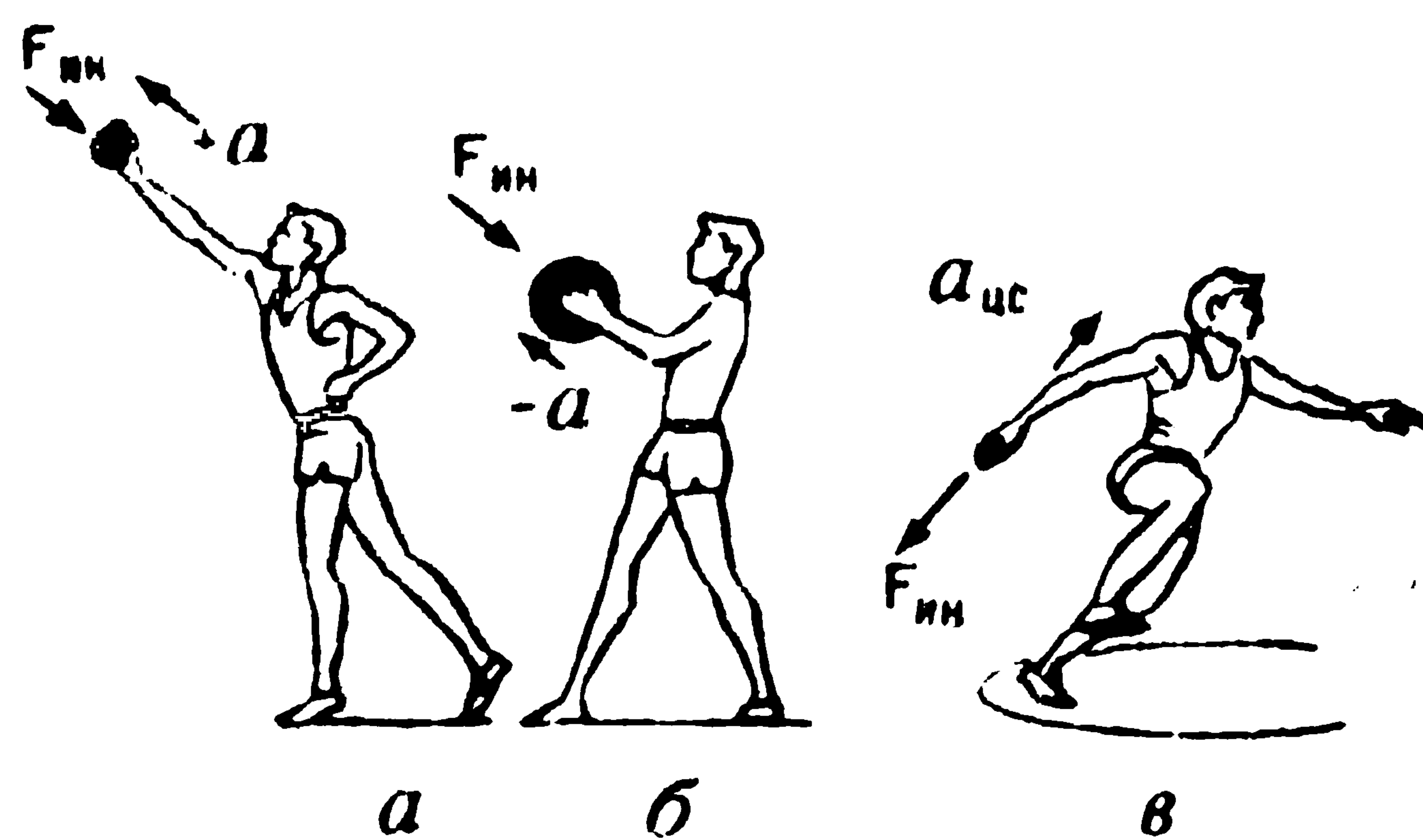


Рис. 32.

Сила инерции снаряда:

а — в преодолевающем движении, б — в уступающем движении, в — во вращательном движении

Во вращательном движении может проявиться еще сила инерции тангенциальная (например, если метатель ускорит движение руки с диском по кривой). Эта сила направлена по касательной противоположно ускоряющей силе. В таком случае можно определить и полную силу инерции: как геометрическую сумму тангенциальной составляющей ( $\bar{F}_{ин}^T = m\epsilon r$ , при угловом ускорении) и нормальной ( $\bar{F}_{ин}^N = m\omega^2 r$ , при центростремительном ускорении).

До сих пор рассматривалась **р е а л ь н а я** сила инерции внешних тел, когда использовалась инерциальная (неподвижная) система отсчета. В этих случаях сила инерции ускоряемого тела (ядра, мяча,

<sup>1</sup> Реальная (от лат. res — вещь) — вещественная, вызванная другим телом.



диска) была вызвана ускоряющим телом (человеком). Сила инерции (реальная) — неуравновешивающее противодействие ускоряемого внешнего тела (по третьему закону Ньютона).

Иногда используют неинерциальную («ускоряющуюся») систему отсчета, в которой законы Ньютона не применимы. В этих случаях вводят «ф и к т и в н у ю» силу инерции, что позволяет в расчетах применить законы Ньютона. Она имеет такую же величину (масса, умноженная на ускорение) и направлена так же (в сторону, противоположную ускорению неинерциальной системы), как реальная сила инерции. Но точкой приложения «фиктивной» силы инерции считается центр инерции самого ускоряемого тела<sup>1</sup>. Фиктивна здесь не сама сила инерции, а точка ее приложения (центр инерции ядра, мяча, диска вместо рабочей точки тела человека).

Когда автобус быстро набирает скорость, или тормозит, или круто поворачивает, пассажиры испытывают (соответственно) толчок назад, вперед или в сторону, противоположную повороту. С точки зрения неинерциальной системы отсчета (автобус), здесь приложена «фиктивная» сила инерции (встречная, или попутная, или центробежная). С точки зрения инерциальной системы отсчета (Земля, если не учитывать ничтожно малого для этого случая влияния ее вращения) автобус изменяет скорость, а пассажиры некоторое время еще продолжают прежнее движение. Иногда спрашивают: «А как же понимать это явление на самом деле?» Ответ очень простой: явление одно и то же, только описания его в разных системах отсчета различны. Вот почему, рассматривая силы инерции, всегда надо определять, силы инерции какого тела, в какой системе отсчета и к какому телу приложены.

В механике нередко силами инерции называют только «фиктивные» силы инерции в неинерциальных системах отсчета, и это, в принципе, вполне обоснованно. Однако в биомеханическом исследовании движений человека, в которых почти всегда есть ускорения, целесообразно рассматривать также и реальные силы инерции как неуравновешивающее противодействие при ускорении.

Применяемые в физических упражнениях отягощения действуют не только своим весом (не смешивать с силой тяжести), но и реальной силой инерции, если отягощению придается ускорение. По принципу эквивалентности гравитация (тяготение) и инерция (ускорение) по действию практически неразличимы.

### 23.2. Силы упругой деформации

Все реальные тела под действием приложенных сил деформируются. Силы, возникающие в теле, противодействующие деформации и после нее восстанавливающие форму тела, называют у п р у г и м и.

*Сила упругой деформации — это мера действия деформированного тела на другие тела, вызывающие эту деформацию. Упругие силы зависят от свойств деформированного тела, а также вида и величины!*

<sup>1</sup> Центр инерции твердого тела — точка приложения равнодействующей параллельных сил инерции («фиктивных») всех частиц тела.



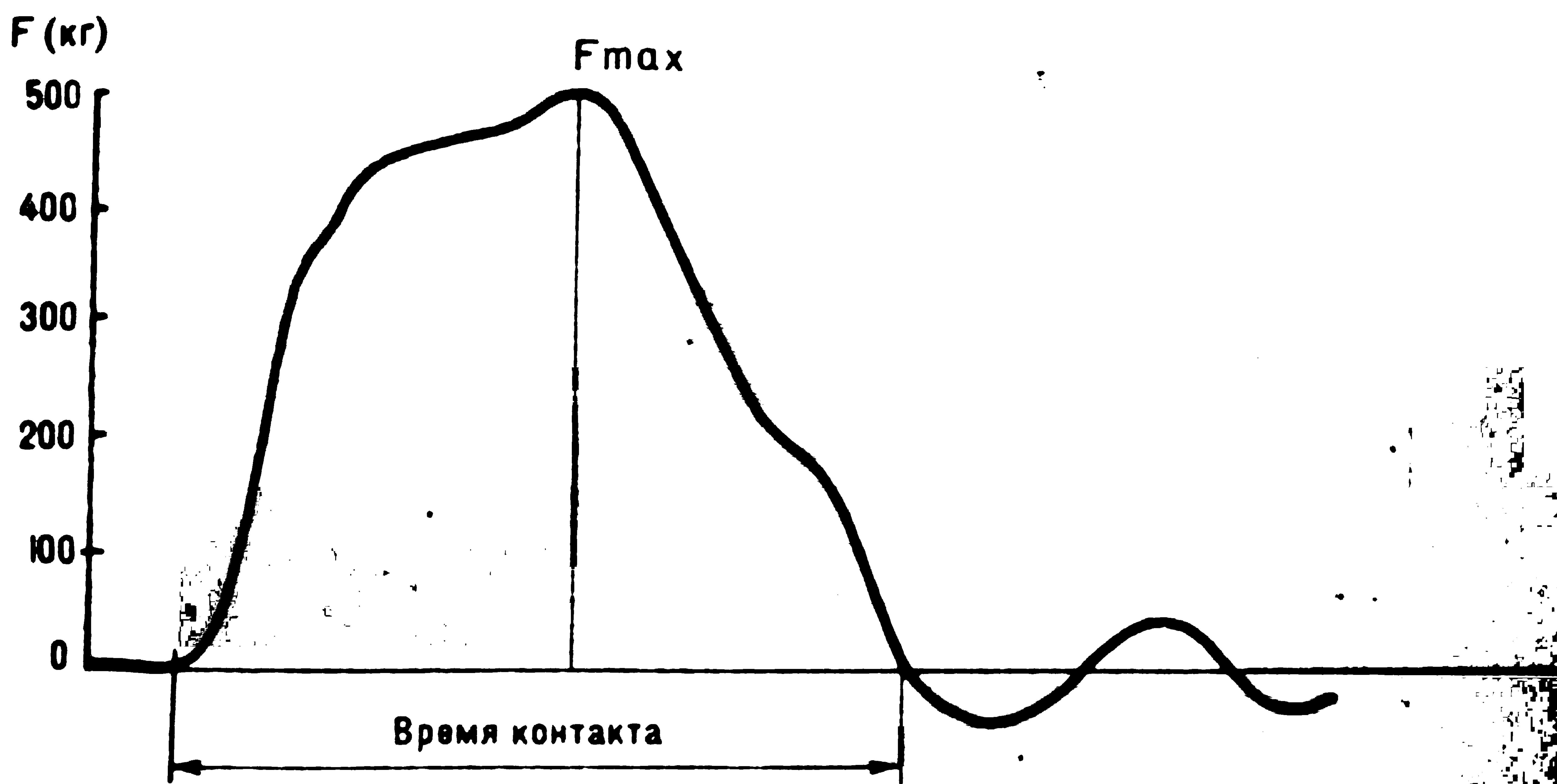
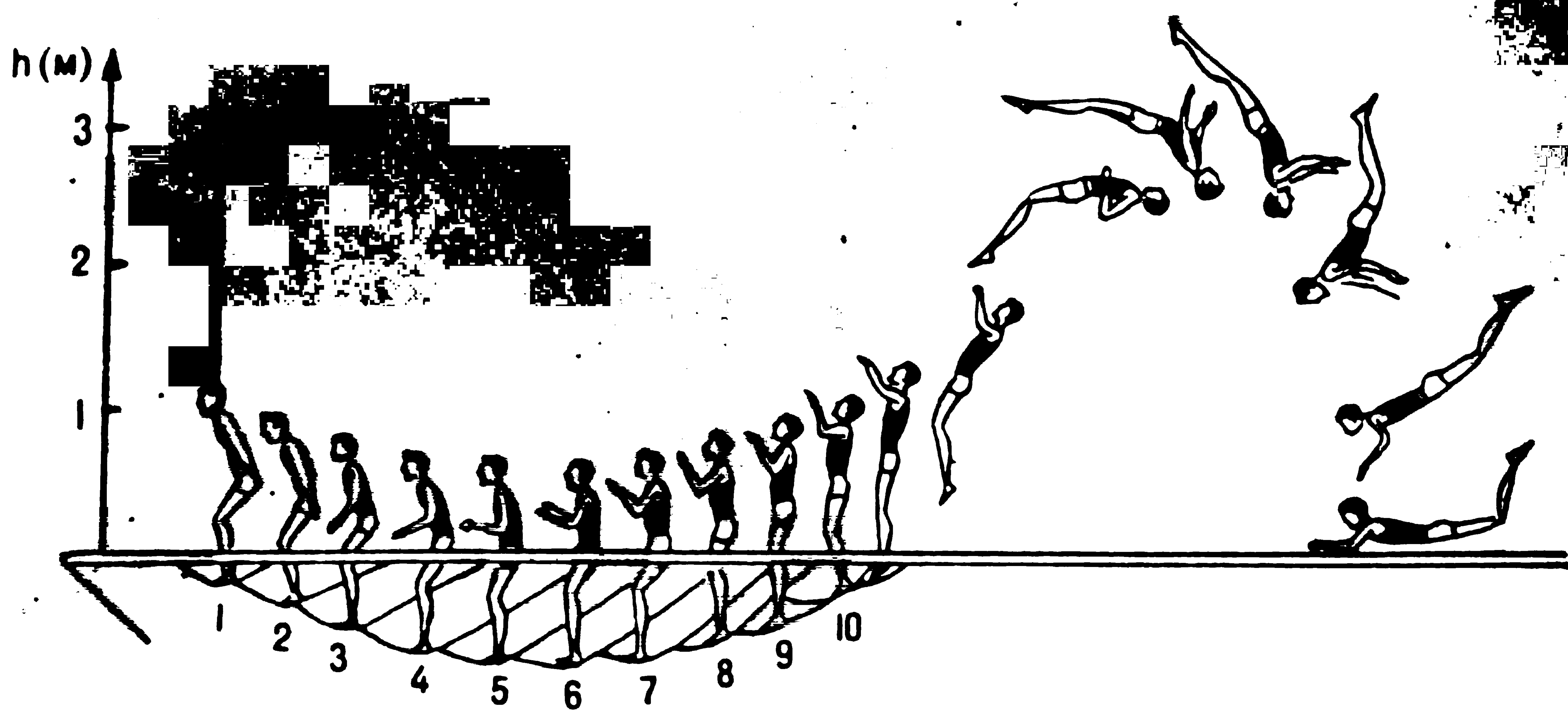


Рис. 33.  
Сила упругости батута

деформации:  $\bar{F}_{упр} = \Delta l / C$ ;  $[F_{упр}] = MLT^{-2}$ , где  $\bar{F}_{упр}$  — упругая сила,  $\Delta l$  — деформация,  $C$  — коэффициент жесткости (упругости) тела<sup>1</sup>.

Спортсмен сжимает динамометр, растягивает эспандер, изгибает во время наскока упругий трамплин или батут (рис. 33); в них при деформации возникают упругие силы. Нарастая, они останавливают деформацию. Спортсмен совершил работу, передал энергию деформированным внешним телам (потенциальная энергия упругой деформации). Далее прекращается действие деформирующей силы, и по-

<sup>1</sup> Коэффициент жесткости тела ( $C$ ) равен отношению силы, например веса тела ( $P$ ), к вызванной ею деформации:

$$C = \frac{\bar{P}}{\Delta l}.$$



тенциальная энергия упругой деформации переходит в кинетическую энергию. Как восстанавливают форму динамометр и эспандер, спортсмену безразлично, а вот восстановление формы упругого trampлина или батута передает кинетическую энергию телу спортсмена, и он выпрыгивает выше, чем с пола. Упругие силы деформированного trampлина или батута совершают положительную работу.

Искусственные покрытия мест занятий обладают определенной жесткостью, что позволяет использовать силы упругой деформации при амортизации и отталкивании.

### 23.3. Силы тяжести и вес

По закону всемирного тяготения все тела на Земле испытывают силу ее притяжения.

*Сила тяжести тела — это мера его притяжения к Земле (с учетом влияния вращения Земли):  $\vec{G} = m \cdot \vec{g}$ ;  $[G] = MLT^{-2}$*  [Сила тяжести зависит от масс Земли и притягиваемого ею тела, а также от расстояния между ними. Расстояние от центра Земли до ее поверхности на полюсе меньше (6357 км), а на экваторе больше (6378 км), поэтому сила тяготения на экваторе на 0,2% меньше, чем на полюсах.

Так как Земля вращается вокруг своей оси, тела на ее поверхности испытывают действие центробежной силы инерции (фиктивной) в неинерционной (вращающейся) системе отсчета. Она больше всего на экваторе и уменьшает там силу тяготения еще на 0,3% (по сравнению с положением на полюсах). Поэтому сила тяжести равна геометрической сумме сил тяготения (гравитационной) и центробежной (инерционной) (рис. 34).

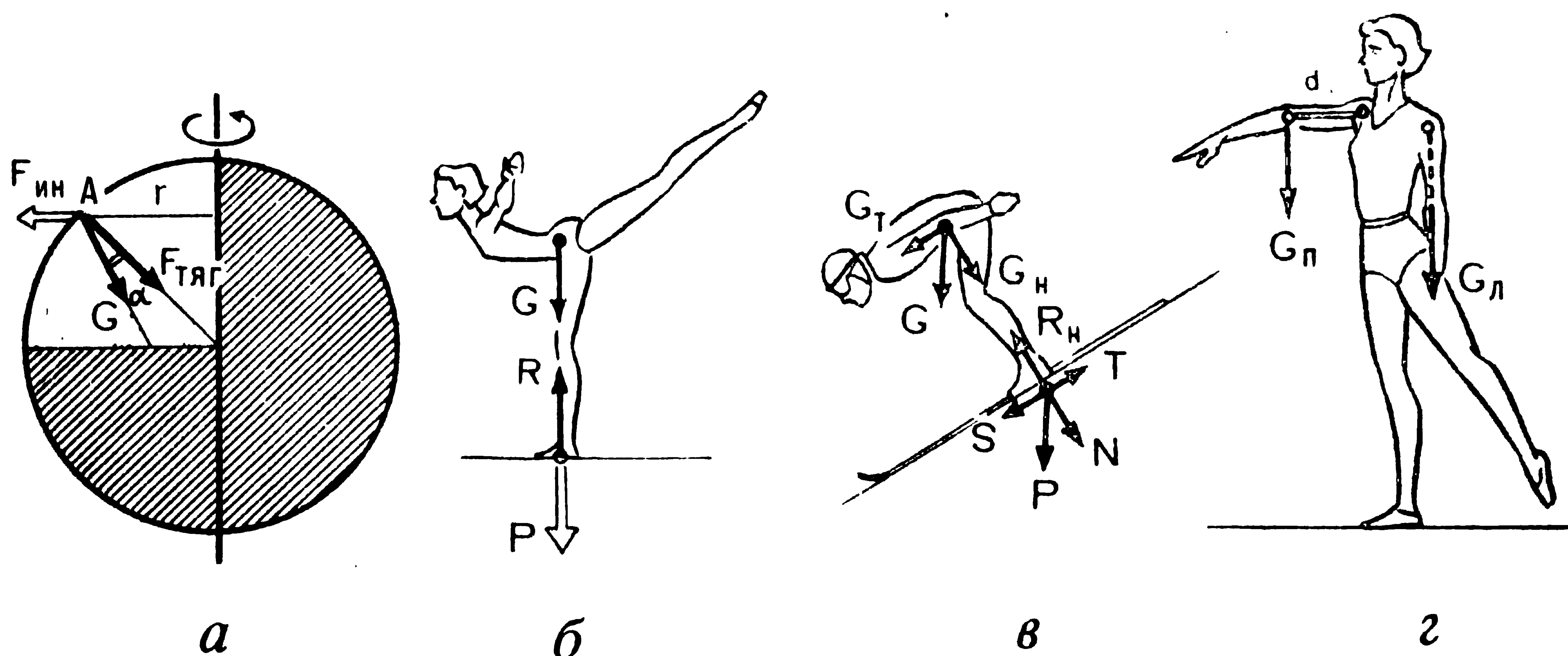


Рис. 34.

Сила тяжести ( $G$ ):

$a$  — ее гравитационная ( $F_{тяг}$ ) и инерционная ( $F_{ин}$ ) составляющие;  $б, в, г$  — действие силы тяжести на горизонтальной опоре и на наклонной;  $P$  — вес тела

На каждое звено и на все тело человека действуют силы тяжести как внешние силы, вызванные притяжением и вращением Земли. Равнодействующая параллельных сил тяжести тела приложена к его центру тяжести.



Когда тело покоится на опоре (или подвешено), сила тяжести, приложенная к телу, прижимает его к опоре (или отрывает от подвеса). Это действие тела на опору (нижнюю или верхнюю) измеряется весом тела (рис. 34, б, в, г). **Вес тела (статический)** — это мера воздействия тела в покое на покоящуюся же опору (или подвес), мешающую его падению. Значит, сила тяжести и вес тела не одна и та же сила. Вес всего тела человека приложен не к нему самому, а к его опоре (сила тяжести — дистантная, вес — контактная сила). В фазе полета в беге веса нет, это случай невесомости.

При воздействии головы на шейные позвонки взаимодействуют голова и позвоночный столб. Таким образом, вес головы относительно всего тела человека — сила внутренняя, относительно же позвоночного столба — внешняя. Вес, например, штанги, удерживаемой человеком, для него, конечно, внешняя сила.

При движении тела с ускорением, направленным по вертикали, возникает вертикальная сила инерции. Она направлена в сторону, противоположную ускорению. Если сила инерции направлена вниз, то она складывается со статическим весом; сила давления на опору при этом увеличивается. Если же сила инерции направлена вверх, то она вычитается из статического веса; сила давления на опору уменьшается. В обоих случаях измененный вес называют **динамическим**, он больше или меньше статического. Динамический вес штанги в руках спортсмена действует на него извне (внешняя сила). Динамический вес туловища при выпрыгивании вверх действует на ноги внутри тела (внутренняя сила относительно всего тела и внешняя — относительно ног).

#### 23.4. Силы реакции опоры

Действие веса тела на опору встречает противодействие, которое называют реакцией опоры (или опорной реакцией).

*Реакция опоры — это мера противодействия опоры действию на нее тела, находящегося с ней в контакте (в покое или движении). Она равна силе действия тела на опору, направлена в противоположную сторону и приложена к этому телу.*

Обычно человек, находясь на горизонтальной опоре, испытывает противодействие своему весу. В этом случае опорная реакция, как и вес тела, направлена перпендикулярно к опоре. Это нормальная (или идеальная) реакция опоры. Если поверхность не плоская, то опорная реакция перпендикулярна к плоскости, касательной к точке опоры.

Когда вес статический, то реакция опоры **статическая**; по величине она равна статическому весу. Если человек на опоре движется с ускорением, направленным вверх, то к статическому весу добавляется сила инерции и возникает **динамическая реакция опоры** (рис. 35). Реакция опоры — сила **пассивная** (реактивная). Она не может сама по себе вызвать положительные ускорения. Но без нее — если нет опоры, если не от чего оттолкнуться (или не к чему притянуться) — человек не может активно перемещаться.

Если отталкиваться от горизонтальной опоры не прямо вверх, то и сила давления на опору будет приложена не под прямым углом



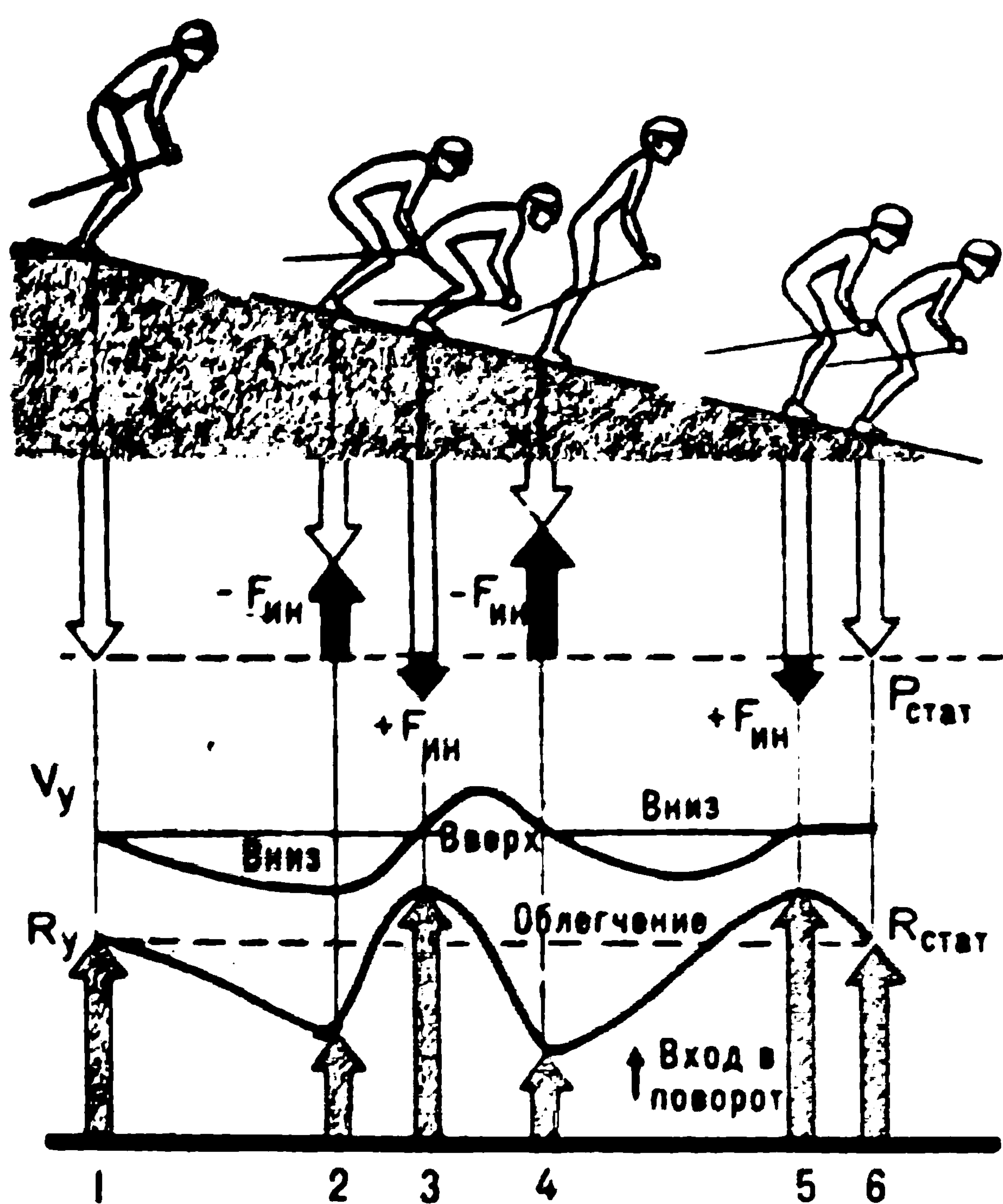


Рис. 35.

Реакции опоры при повороте в слаломе:

1, 6 — статические, 2—5 — динамические;  
 $F_{ин}$  — силы инерции

к ее поверхности. Тогда реакция опоры также не будет перпендикулярна к поверхности, ее можно разложить на нормальную и касательную составляющие. Когда соприкасающиеся поверхности ровные, без выступов, шипов и т. п. (асфальт, подошва ботинка), то касательная составляющая реакции опоры и есть сила трения.

Касательная реакция может быть обусловлена не только трением (как, например, между лыжей и снегом), но и другими взаимодействиями (например, шипы беговых туфель, вонзившиеся в дорожку).

! Равнодействующая нормальной и касательной составляющих называется общей реакцией опоры. Она только при свободном неподвижном положении над опорой (или под опорой) проходит через ЦМ человека. Во время же движений, отталкивания или амортизации она обычно не проходит через ЦМ, образуя относительно него момент.

### 23.5. Силы действия среды

Спортсмену нередко приходится преодолевать сопротивление воздуха или воды. Среда, в которой движется человек, оказывает свое действие на его тело. Это действие может быть статическим (выталкивающая сила) и динамическим (лобовое сопротивление, нормальная реакция опоры).

*Выталкивающая сила — это мера действия среды на погруженное в нее тело. Она измеряется весом вытесненного объема жидкости и направлена вверх.*

Если выталкивающая сила ( $Q$ ) (рис. 36) больше силы тяжести тела ( $\bar{G}$ ), то тело всплывает. Если же сила тяжести тела больше выталкивающей силы, то оно тонет.

*Лобовое сопротивление — это сила, с которой среда препятствует движению тела относительно нее. Величина лобового сопротивления ( $\bar{R}_x$ ) зависит от площади поперечного сечения тела, его обтекаемости, плотности и вязкости среды, а также относительной скорости тела:*

$$\bar{R}_x = S_m C_x \rho \bar{v}^2; [R_x] = M L T^{-2},$$

где  $S_m$  — площадь наибольшего поперечного сечения тела (мидель),  $C_x$  — коэффициент лобового сопротивления, зависящий от формы тела (обтекаемости) (рис. 36, б) и его ориентации относительно направления движения в среде,  $\rho$  — плотность среды (воды —  $1000 \text{ кг/м}^3$ , воздуха —  $1,3 \text{ кг/м}^3$ ),  $\bar{v}$  — относительная скорость среды и тела.

Изменяя площадь поперечного сечения тела, можно изменить и действие среды. Так, у лыжника при спуске с горы в высокой стойке



эта площадь почти в 3 раза больше, чем в низкой стойке. Значит, сопротивление воздуха при спуске можно изменять почти в 3 раза. Принимая в воде позы с лучшей обтекаемостью, нужно уменьшать сопротивление воды. Как известно, с увеличением скорости передвижения сопротивление воды или воздуха резко увеличивается (примерно пропорционально квадрату скорости)..

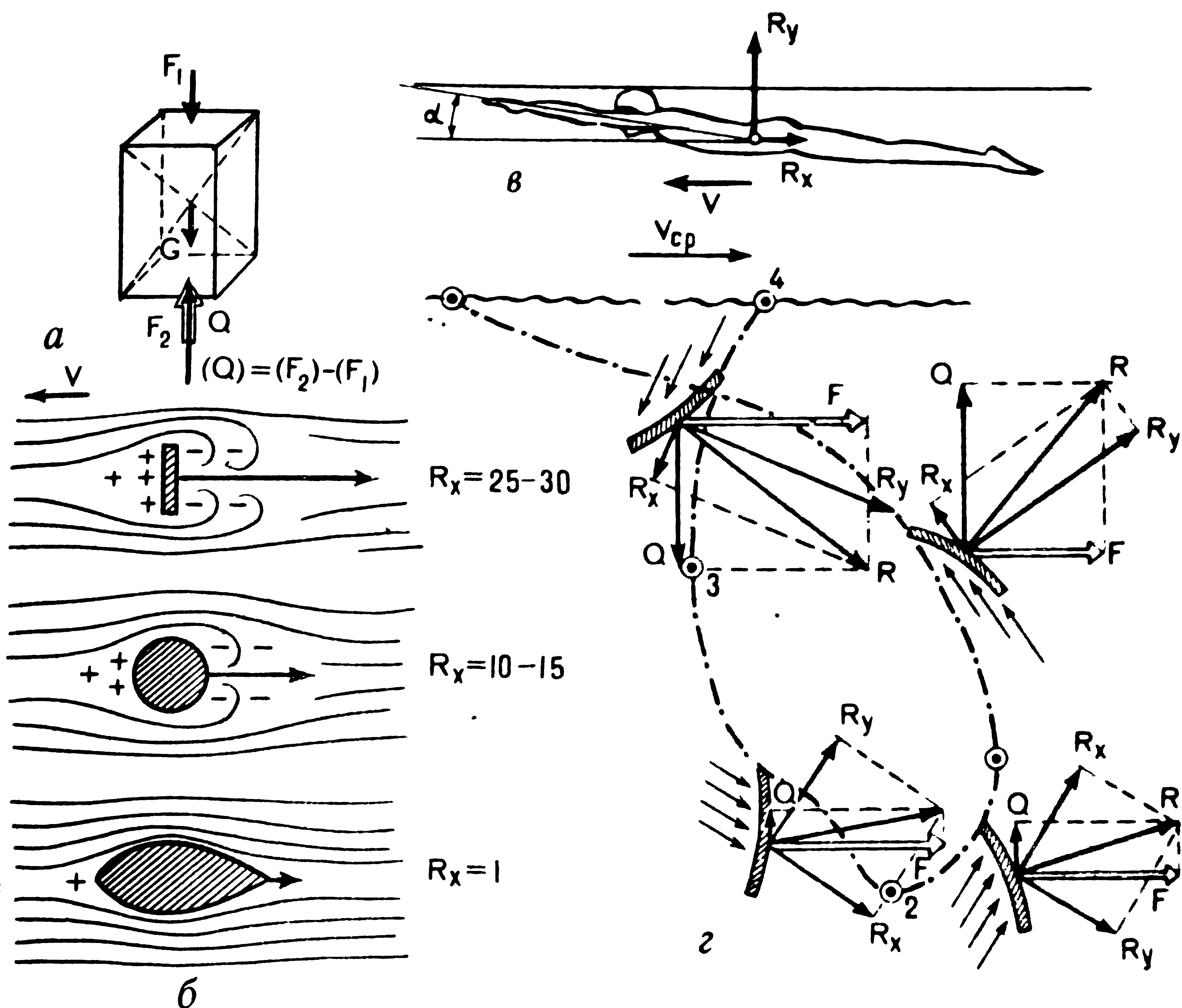


Рис. 36.

Сила действия среды:

*a* — статическая (*Q*) выталкивающая; *б, в, г* — динамические: *б* — лобового сопротивления (*R<sub>x</sub>*), *в* — подъемная (*R<sub>y</sub>*), *г* — их соотношение при гребке рукой

Нормальная реакция среды — это сила, действующая со стороны среды на тело, расположенное под углом к направлению его движения. Она зависит от тех же факторов, что и лобовое сопротивление:

$$\bar{R}_y = S_{\mu} C_y \rho \bar{v}^2; [R_y] = MLT^{-2},$$

где  $C_y$  — коэффициент нормальной реакции среды (в полете ее называют подъемной силой).

Нормальная реакция среды при гребке направлена перпендикулярно силе лобового сопротивления.



С нормальной реакцией среды как с подъемной силой приходится считаться (например, пловцу во время продвижения по дистанции, прыгуну на лыжах с трамплина во время полета в воздухе).

### 23.6. Силы трения

Абсолютно гладких поверхностей опоры практически не существует. Между телом человека и опорой при движении по ней всегда возникает трение.

Сила трения — это мера противодействия движущемуся телу, направленного по касательной к соприкасающимся поверхностям. Сила трения считается равной произведению нормального давления на коэффициент трения:

$$\bar{T} = \bar{N} \cdot k_{\text{тр}}; [T] = MLT^{-2}$$

где  $k_{\text{тр}}$  — коэффициент трения (рис. 37, а).<sup>1</sup>

Как видно из формулы, коэффициент трения — это отношение силы трения к силе нормального давления (прижимающей силе), которая прижимает трущиеся тела друг к другу:

$$k_{\text{тр}} = \frac{\bar{T}}{\bar{N}}.$$

Это справедливо для трения скольжения, когда одно тело перемещается относительно другого, не теряя контакта с ним, скользит по нему. Сила трения в этом случае динамическая. Если же одно тело не может скользить по другому, сдвигающая сила не может сдвинуть его, значит, сила трения удерживает тело в неподвижности. Такая сила трения называется статической (или силой трения скольжения покоя). По третьему закону Ньютона статическая сила трения равна сдвигающей силе<sup>1</sup>.

Предел, до которого может увеличиваться статическая сила трения, называется предельной силой трения скольжения покоя. Она равна произведению нормального давления на статический коэффициент трения скольжения:  $\bar{T}_{\text{ст}} = \bar{N}k$ . Следовательно, статический коэффициент трения скольжения равен отношению статической силы трения скольжения (предельной) к силе нормального

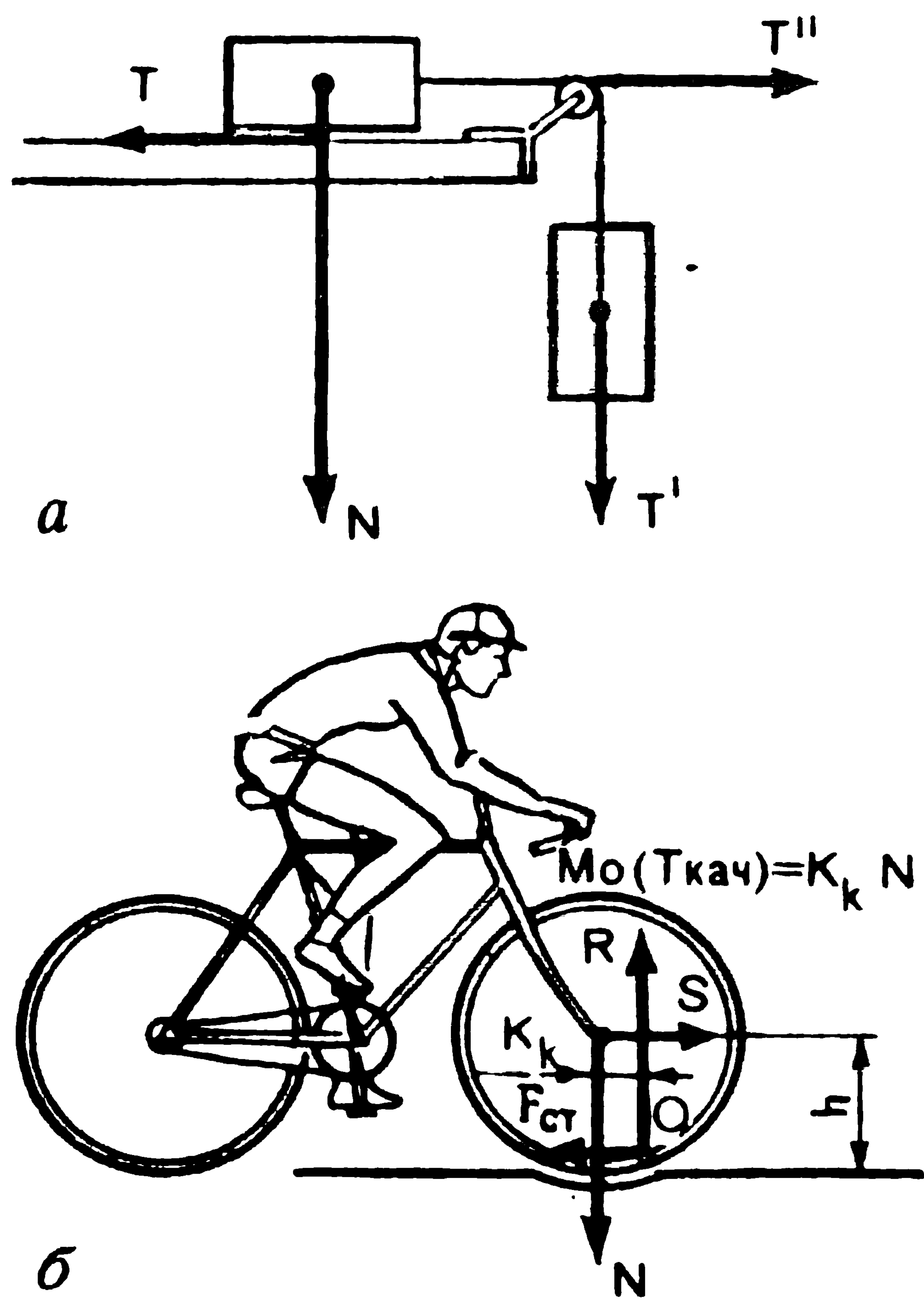


Рис. 37.

Силы трения:

а — скольжения ( $T$ ), где  $T'$  — вес груза, равный сдвигающей силе ( $T''$ ) и силе трения ( $T$ ); б — качения, где  $k_k$  — коэффициент трения качения

<sup>1</sup> Строго говоря, не самой сдвигающей силе, приложенной к сдвигаемому телу, а силе действия последнего на опору.



давления; можно сказать иначе: это отношение сдвигающей силы к прижимающей.

Механизм трения скольжения объясняют зацеплением неровностей поверхностей скользящих тел друг за друга (механическая теория), а также молекулярным сцеплением, когда гладкие поверхности обеспечивают плотный контакт тел (молекулярная теория). При смазке неровности поверхности «сглаживаются».

Второй вид трения, отличающийся от трения скольжения, проявляется при качении, когда точки соприкосновения тел все время сменяются (точки покрышки велосипеда и места его опоры на дорожке). Механизм трения качения объясняют деформацией соприкасающихся тел. Колесо как бы вдавливается в опору, образуя ямку, через край которой колесу все время приходится перекатываться (рис. 37, б). Коэффициент трения качения вычисляют как отношение момента движущей силы к моменту трения ( $\bar{N}$  — сила нормального давления, умноженная на ее плечо относительно края ямки —  $k_k$ ). Плечо силы  $N$ , затрудняющей «выкатывание» из ямки, и есть коэффициент трения качения (его размерность —  $L$ ).

Третий вид трения проявляется, когда между трущимися поверхностями имеется неподвижная точка. Это трение верчения — движение происходит вокруг этой точки. Так, стопа при отталкивании от опоры, если на подошве обуви нет шипов, вращается относительно грунта. У метателя молота на подошве обуви имеется один шип, верчение происходит при повороте вокруг шипа.

Силы трения, направленные навстречу движению, тормозят его. Они вызывают отрицательное ускорение, совершают отрицательную работу. Силы трения, направленные одинаково с движением, не создают положительного ускорения, не совершают положительной работы, а только не дают точке контакта движущегося тела «проскальзывать» назад.

### 23.7. Силы внутренние относительно тела человека

Силы внутренние относительно тела человека возникают вследствие взаимодействия частей биомеханической системы тела. Они проявляются, в частности, как силы притягивания и отталкивания внутри тела. В абсолютно твердом теле такие силы взаимно уравновешены, деформации и напряжения не возникают. В теле человека внутренние силы могут действовать статически, вызывая только напряжения в деформированных тканях, и динамически, вызывая движение звеньев и изменяя позу.

Различают внутренние силы активного действия (мышечная работа) и пассивные механические силы (пассивного взаимодействия).

Силы мышечной тяги, приложенные к костям скелета, служат источниками энергии движения, сохраняют необходимые позы, управляют движениями, изменяют взаимодействие тела человека с окружающими физическими объектами (среда, опора, снаряды и другие люди). Управляя своими движениями, человек учится управлять (в



известных пределах) и внешними силами, а значит, эффективно управлять своими движениями в конкретных условиях внешнего окружения. Силы мышечной тяги правильно также называть усилиями.

Силы п а с с и в н о г о в з а и м о д е й с т в и я в отличие от сил мышечной тяги не вызваны непосредственно физиологической активностью, биологическими процессами, хотя в некоторой степени и зависят от них. При наличии опоры звенья тела человека всегда своим весом действуют на удерживающие их соседние звенья. При ускорениях звеньев к статическому весу прибавляются (или вычитаются из него) силы инерции звеньев. Как противодействие статическому и динамическому весу имеются соответствующие реакции опоры. Вследствие упругих деформаций возникают упругие силы, преимущественно в мягких тканях. Наконец, имеются и силы трения, обусловленные взаимным смещением органов и тканей в местах их контакта, в суставах, между мышцами, внутри мышц и т. п.

Силы веса, статических реакций опоры и трения невелики по сравнению с силами мышечной тяги, хотя статические моменты (например, в спортивной гимнастике, особенно на снарядах) и могут быть значительными. Зато силы инерции и упругой деформации могут быть очень большими.

В статике встречаются все перечисленные силы, кроме сил инерции. В движениях силы инерции обуславливают увеличение динамических весов, опорных реакций, упругих сил и трения. Поскольку все эти силы есть проявление механических реакций системы звеньев тела, Н. А. Бернштейн назвал их условно «реактивными» силами в теле человека. В форме давления, толчков, рывков, отдачи «силовые волны» проходят по звеньям тела, сотрясают их, отражаются, сталкиваются, взаимно усиливаясь или угасая. Эти «волны» не могут быть предусмотрены, бывают очень велики, вносят большие помехи в управление движениями. Однако по мере совершенствования управления они входят в основную динамическую структуру и способствуют ее стабилизации (см. гл. VI), появлению д и н а м и ч е с к о й у с т о й ч и в о с т и движений.

Движения звеньев происходят с ускорениями центростремительными (неизбежны при суставных движениях) и тангенциальными (при разгоне звена — положительные, при торможении — отрицательные). Поэтому с и л ы и н е р ц и и имеются при движениях всегда. Это самая многочисленная группа сил внутреннего пассивного взаимодействия, ведущая среди реактивных сил.

Поскольку в любом движении, тормозя звено и останавливая его, растягиваются мышцы-антагонисты, то всегда возникают у п р у г и е с и л ы (деформация соединительнотканых и мышечных элементов). При больших ускорениях инерционные и упругие силы особенно велики. При так называемой «упругой отдаче» роль этих двух групп сил становится ведущей в движениях.

Таким образом, внутренние силы пассивного (в биологическом смысле) взаимодействия играют роль не только связей, ограничивающих движения; в определенных условиях они используются как движущие силы, повышающие эффективность мышечной работы.



## 23.8. Роль сил в движениях человека

В механике изучаются законы действия механических сил независимо от их источников, их происхождения. В биомеханике же существенно, каковы источники сил и, следовательно, какова «цена» используемой силы для организма человека. Все силы, приложенные к его двигательному аппарату, составляют систему сил внешних и внутренних. Система внешних сил проявляется чаще как силы сопротивления. Для преодоления сопротивления затрачивается энергия движения и напряжения мышц человека. Различают **р а б о ч и е** и **в р е д н ы е** сопротивления. Преодоление рабочих сопротивлений нередко составляет главную задачу движений человека (например, в преодолении веса штанги и заключается цель движений со штангой). Вредные сопротивления поглощают положительную работу; они, в принципе, неустранимы (например, силы трения лыж по снегу).

Внешние силы используются человеком в его движениях и как движущие. Для совершения необходимой работы, для преодоления человеком сил сопротивления могут использоваться вес, упругие силы, инерционные и др. Внешние силы являются в этом случае «даровыми» источниками энергии, поскольку человек расходует меньше внутренних запасов энергии мышц.

Человек преодолевает силы сопротивления мышечными силами и соответствующими внешними силами и совершает как бы две части работы: а) работу, направленную на преодоление всех сопротивлений (рабочих и вредных), и б) работу, направленную на сообщение ускорений своему телу и перемещаемым внешним объектам.

В биомеханике **с и л а д е й с т в и я ч е л о в е к а**<sup>1</sup> — это сила воздействия на внешнее физическое окружение, передаваемого через рабочие точки тела. **Р а б о ч и е т о ч к и**, соприкасаясь с внешними телами, передают движение (количество движения, а также кинетический момент) и энергию (поступательного и вращательного движения) внешним телам.

Тормозящими силами, входящими в сопротивление, могут быть все внешние и внутренние силы, в том числе и мышечные. Какие из них будут играть роль вредных сопротивлений, зависит от условий конкретного упражнения. Только реактивные силы (силы реакции опоры и трения) не могут быть движущими силами; они всегда остаются сопротивлениями (как вредными, так и рабочими).

Все силы независимо от их источника действуют как механические силы, изменяя механическое движение. В этом смысле они находятся в единстве, как материальные силы: можно производить (при соблюдении соответствующих условий) их сложение, разложение, приведение и другие операции.

Движения человека представляют собой результат совместного действия внешних и внутренних сил. Внешние силы, выражающие воздействие внешней среды, обуславливают многие особенности движений. Внутренние силы, непосредственно управляемые человеком, обеспечивают правильное выполнение заданных движений.

<sup>1</sup> Применяемое нередко в спортивной практике сочетание слов «сила движения» физического смысла не имеет.



По мере совершенствования движений становится возможным лучше использовать мышечные силы. Техническое мастерство проявляется в повышении роли внешних и пассивных внутренних сил как движущих сил. Обеспечивается не только экономность (сбережение сил), экономичность (высокий к.п.д. мышечных сил), но и высокий максимум мышечных сил, а также значительная быстрота достижения этого максимума при движении.

Задачи совершенствования движений, повышения их эффективности в самом общем виде сводятся к повышению результата ускоряющих сил и снижению действия вредных сопротивлений. Это особенно важно в спорте, где все движения направлены на рост спортивного результата.

## § 24. Биоэнергетика двигательных действий

В двигательных действиях происходит *п р е в р а щ е н и е* одних видов энергии в другие (химической в механическую и тепловую) и *п р е о б р а з о в а н и е* механической энергии (кинетической в потенциальную и наоборот). Изучение источников энергии, путей ее перехода, условий индивидуального использования и ее потерь необходимо для совершенствования систем движений.

### 24.1. Превращение и преобразование энергии в двигательных действиях

*Подвод энергии в биомеханическую систему совершается в результате: а) превращения химической энергии в механическую потенциальную напряженной мышцы, б) перехода работы внешних сил в кинетическую энергию биомеханической системы и потенциальную энергию деформированных мышц и перемещаемого тела. Энергия расходуется на: а) производительную работу; б) непроизводительные затраты, связанные с ее превращением и рассеянием энергии; в) преобразование ее при накоплении в растянутой мышце.*

Механическое движение человека сопровождается изменением механического состояния его тела; это состояние определяется энергией биомеханической системы. Величина и характер расхода энергии при движениях зависят от особенностей движений. Коль скоро происходит *р а с х о д* энергии, необходим и *п о д в о д* энергии.

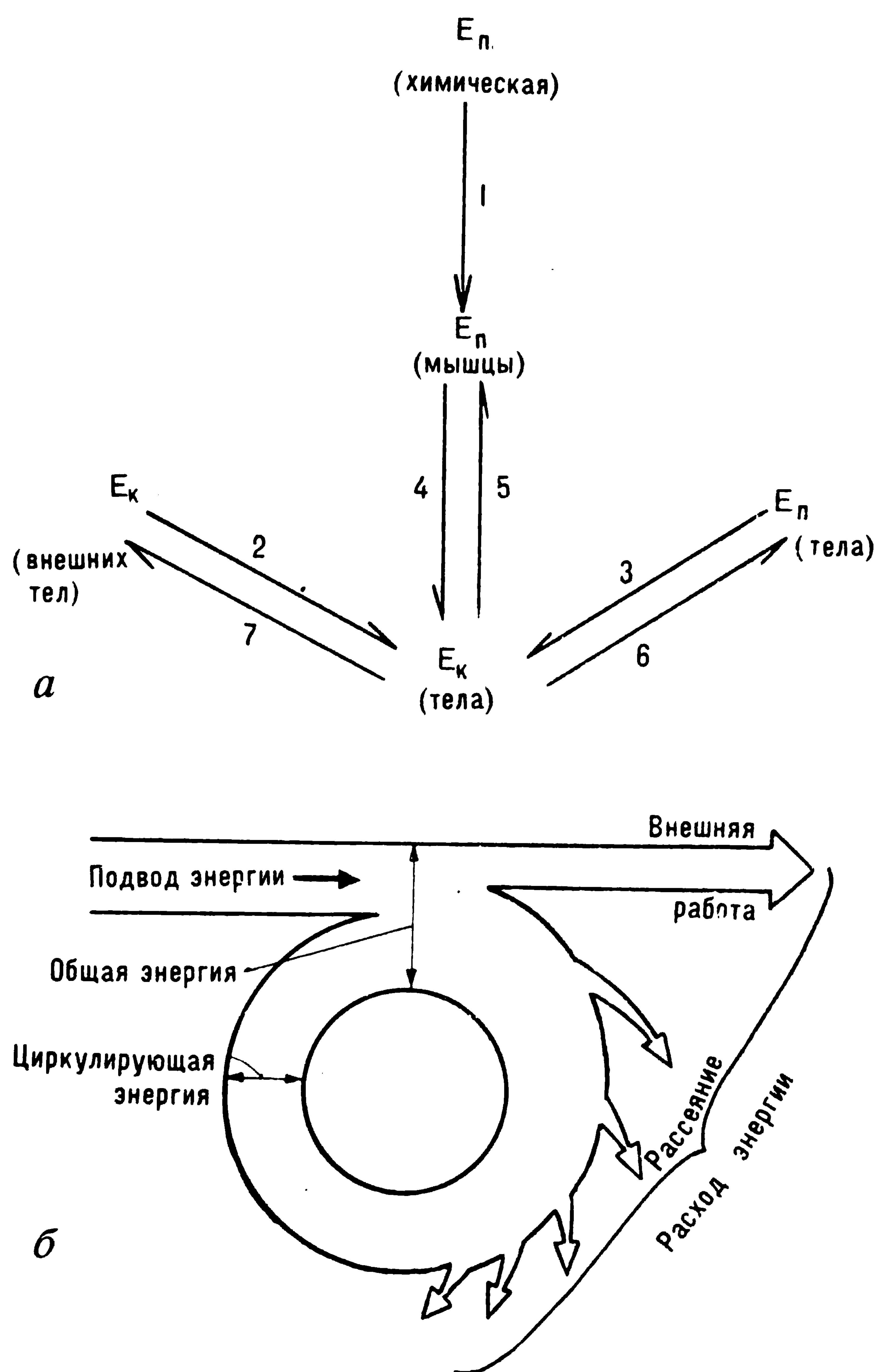
Существует, по меньшей мере, два *и с т о ч н и к а* энергии, используемой в движениях. Первый источник — запасы химической энергии. Этот источник находится в мышцах, других органах и крови. В мышцах происходят химические реакции и возникает напряжение в сократительных элементах: химическая энергия превращается в механическую — потенциальную энергию упруго деформированных элементов мышц (рис. 38,1). Вторым источником энергии движений — это механическая энергия внешнего окружения (внешних тел, среды, партнеров и противников). Она передается телу посредством работы внешних сил: а) кинетическая энергия движущихся объектов (рис. 38,2) (например, бросок, выполненный противником в борьбе) и б) потенциальная энергия положения (рис. 38,3) (например, движение вниз



при соскоке с перекладины в поле земного тяготения). В этих случаях спортсмен движется пассивно. Все активные движения совершаются благодаря преобразованию потенциальной энергии напряженных мышц в кинетическую энергию звеньев тела и всего тела в целом (рис. 38, 4). Силы тяги мышц совершают работу. Напомним, что работа силы — процесс изменения энергии (состояния). Всегда, когда изменяется количество или форма энергии, это следствие работы сил.

Приобретенная энергия не всегда тотчас же расходуется. Неизрасходованная энергия накапливается. Химическая энергия «запасается» благодаря питанию и дыханию человека. Она превращается в механическую (потенциальную) энергию напряженных мышц. Накопление энергии в мышцах происходит и другим путем: когда мышцы растягиваются в уступающей работе, тормозя движение звеньев тела. Кинетическая энергия последних преобразуется в потенциальную энергию упруго деформированных мышц (рис. 38, 5). Наконец, накопление энергии может быть в виде потенциальной энергии тела человека, когда он поднимает себя против сил тяжести (рис. 38, 6).

А каковы же затраты механической энергии тела человека? Естественно, что когда человек двигается, он затрачивает кинетическую энергию на передвижение своего тела и движимых им внешних тел (например, метание диска) (рис. 38, 7). Работа против внешних сил идет за счет уменьшения механической энергии тела, с увеличением кинетической энергии внешних тел. Как известно, затраты кинетической энергии бывают производительными (на решение двигательной задачи) и непроизводительными (против вредных сопротивлений, например сил трения). Возможны затраты кинетической энергии тела, как уже упоминалось, и на превращение ее в потенциальную (рис. 38, 6) (например, движение вверх в висе на перекладине после маятникообразного движения вниз). Ранее были названы способы затраты кинетической энергии на накопление потенциальной энергии как в мышцах (рекуперация<sup>1</sup> энергии), так и во всем теле в поле земного тяготения.



**Рис. 38.**

Энергетика двигательного действия:

а — преобразование (1) и превращение (2—7) энергии,  
б — подвод и расход энергии (по Н. С. Северцову)

<sup>1</sup> Рекуперация (лат.) — получение вновь (подробнее см. 24.2).



При всех изменениях энергии значительная часть ее превращается в тепловую и рассеивается (рис. 38, б). По закону сохранения энергии она не исчезает; но механическая энергия, превращаясь в тепловую, теряется в процессе механической работы. Из затрат механической энергии не более  $\frac{1}{4}$  идет на механическую работу (к.п.д. 20—25%).

Такова несколько упрощенная схема превращения и преобразования энергии при движениях человека.

## 24.2. Энергетика возвратных движений

*Возвратные движения включают фазу прямого движения (с торможением) — подготовительную и фазу обратного движения (с разгоном) — рабочую, которые разделены критической точкой на траектории.*

Эффективность рабочей фазы зависит от исходного положения звеньев в критической точке и состояния деформации и напряжения ведущих антагонистических групп мышц.

Возвратные движения характеризуются сменой направления движения на противоположное (туда — обратно). Обычно и прямое, и обратное движения состоят каждое из двух фаз: а) п р я м о е — разгона и торможения, б) в о з в р а т н о е — вновь разгона и торможения. Из названных четырех фаз первая и последняя могут значительно изменяться и не составляют типичной картины возвратного движения. Зато торможение прямого и разгон возвратного движений — характерные фазы возвратного движения. Между ними имеется критическая точка — положение, из которого происходит смена направления скорости (рис. 39). Это положение может быть мгновенным (промежуточным в движении); возможна также остановка в этом положении.

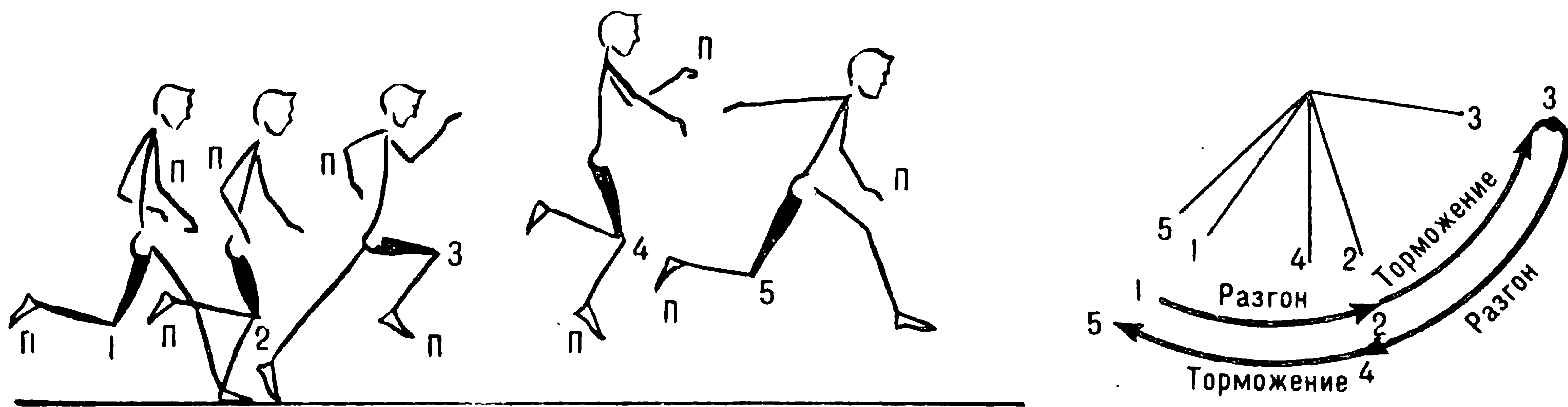


Рис. 39.

Фазы возвратного движения маховой ноги в тройном прыжке (скачок)

Сначала рассмотрим возвратное движение без паузы в критической точке траектории. Торможение совершается при уступающей работе антагонистов. Возникающие при отрицательном ускорении силы инерции совершают работу против упругих сил деформации мышц. Возникающие в мышцах упругие силы играют роль останавливающих деформацию. К критической точке скорость падает до нуля, кинетическая энергия израсходована на работу против упругих сил. Теперь начинается обратное движение. Здесь схематически возможны два случая: а) торможение движения совершалось благодаря активной



работе мышц с затратой превращенной химической энергии; б) тормозили только упругие (параллельный компонент) элементы мышцы без затраты химической энергии. В начинающемся обратном движении больше или меньше используется энергия упруго деформированных мышц; упругие силы восстанавливают длину растянутых мышц. Так обычно исполняют подготовительные и основные движения (подседание — отталкивание, замах — удар и др.).

Если возвратное движение происходит с паузой в критической точке, то за время паузы не сохраняется полностью потенциальная упругая энергия, мышцы могут расслабиться (релаксация), и отталкивание (или удар) получается намного слабее. Нередко возможно и рационально делать возвратное движение, используя криволинейную траекторию. Замах тогда переходит в удар (например, в теннисе) без остановки в движении по кривой, с постепенным переключением активности с одних мышц на другие.

Энергетически наиболее целесообразно тормозить звено упругими силами, чтобы лучше использовать «упругую отдачу» мышц. Необходимо только, чтобы растягивание тормозящих мышц делали внешние силы (например, сила тяжести и сила инерции тела в тройном прыжке). Тогда будут использованы «даровые» силы, сэкономится энергия мышечного сокращения. При возвратном же движении максимальное напряжение движущих мышц включает и активные силы мышечного сокращения и накопленные при подготовке упругие силы.

В критической точке положение звеньев (исходная поза) определяет возможные направление и размах движений, силу тяги групп мышц, тормозящих прямое и ускоряющих обратное движения, а также их антагонистов. Последние не должны ни тянуть звено в конце прямого движения, ни тормозить его в начале обратного. Иначе говоря, в рациональных возвратных движениях они возможно полно расслаблены.

Итак, энергетически целесообразно тормозить звено не включая сократительные элементы; растягивать мышцы только внешними силами; включать сократительные элементы в критической точке; поддерживать активное сокращение только в фазе разгона обратного движения. Таковы отличительные особенности рационального построения скоростно-силового возвратного движения в спорте (по Н. С. Северцову). В медленных возвратных движениях такой схемы обычно нет.

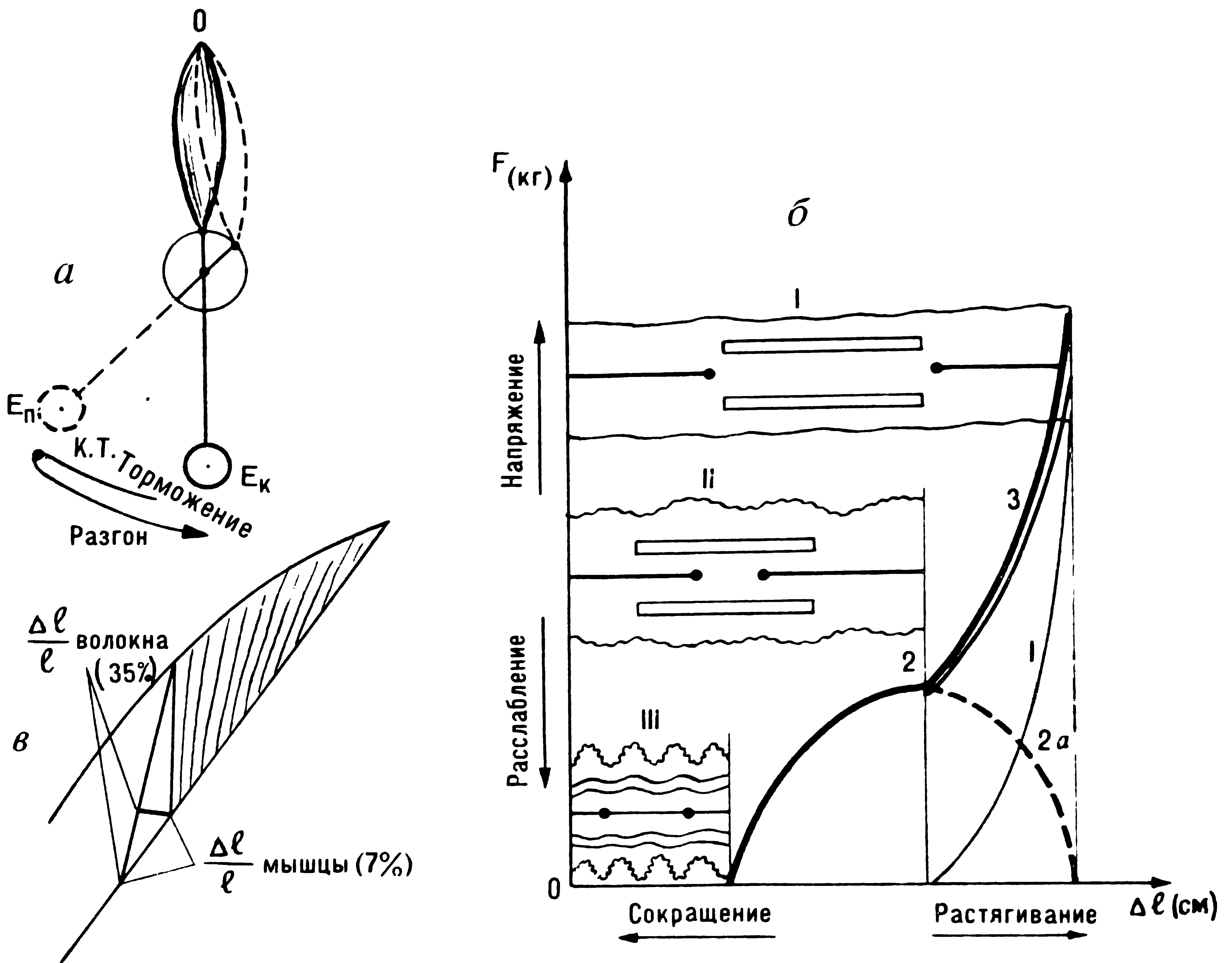
### 24.3. Режим колебательных движений

*Рациональный режим колебательных движений включает упругую отдачу мышц в сочетании с сохранением и резонансным<sup>1</sup> накоплением энергии в мышцах путем совершенствования управления энергетикой.*

В так называемых циклических движениях, где многократно повторяется одинаковый ряд движений, часто используется колебательный режим. Для него характерна многократная смена повторяющихся возвратных движений (например, движения ног при беге).

<sup>1</sup> Резонанс (лат.) — дающий отзвук.





**Рис. 40.**

Энергетика колебательных движений:

*а* — поглощение и отдача энергии мышцей; *б* — зоны работы мышцы (по Н. С. Северцову); *в* — деформация волокна ( $-\frac{\Delta l}{l}$ ) в перистой мышце

В каждом цикле колебательных движений имеются потери энергии. Если их не восполнять, то колебания становятся **з а т у х а ю щ и м и**. Если потери восполнять полностью, то колебания становятся **п о с т о я н н ы м и**, устанавливается **с т а б и л ь н ы й** колебательный режим. И, наконец, если в каждом цикле своевременно подводить энергии больше, чем ее теряется, возникает **р е з о н а н с н ы й** режим. Мышца, работающая в резонансном режиме, с каждым циклом получает добавочную энергию и таким образом накапливает ее. Подвод энергии совершают сократительные элементы мышцы в критических точках траектории (рис. 40, *а*). Тогда каждый новый цикл происходит на более высоком уровне энергии; увеличение кинетической энергии означает повышение скорости. На цикл затрачивается меньше времени, растет темп. Таким образом, например, в беге становится больше скорость продвижения по дорожке. В разбеге благодаря резонансному накоплению энергии повышается мощность.

Накопление энергии в мышце обеспечивается параллельными упругими компонентами. Они обладают высоконелинейной упругостью



(рис. 40, б). Кривая 1 показывает, как с увеличением длины мышечных волокон (на 25—30%) стремительно нарастает сила тяги у невозбужденной мышцы. На кривой 2 видно, как по мере сокращения мышечного волокна сила тяги падает до нуля. Если в зоне растянутого состояния мышцы из силы тяги вычесть силу упругой деформации, станет видно, что по мере растягивания волокна доля вклада в усилие сократительных элементов резко падает (кривая 2а).

Причины такого распределения усилий между сократительными и упругими элементами понятны из упрощенной схемы их взаимного расположения. Сила тяги сократительных элементов (положение *II*) наибольшая, когда участки взаимодействия тонких и толстых нитей достаточно велики, а тормозящие силы при сжатии саркомера еще не проявляются. Когда саркомер сильно растянут, участки взаимодействия минимальны (падение сократительного эффекта), а упругие силы максимальны (положение *I*). У полностью сокращенного саркомера тормозящие силы уравнивают собой силы сократительных элементов, отчего сила тяги падает (положение *III*).

Следует подчеркнуть, что подобная схема характерна лишь для мышц с расположением волокон под углом к продольной оси мышцы (перистых, веерообразных). В них небольшое удлинение всей мышцы приводит к значительному удлинению каждого волокна (рис. 40, в). Такие мышцы обеспечивают движения в суставах ног, обуславливая большую роль упругой отдачи. Кстати, подобные мышцы обладают и большей силой, так как в них суммируются усилия многочисленных волокон. У них велика и скорость укорочения всей мышцы. Значит, это быстрые и сильные мышцы с большими возможностями накопления энергии при значительном растягивании их волокон. Последнее свойство характерно только для косоволокнистых мышц, но среди скелетных мышц человека они составляют большую часть.

Механизм упругой отдачи мышцы в возвратных движениях дополняется в колебательном режиме резонансным накоплением энергии. Автоматическое включение сократительных элементов в критической точке (автоколебания) повышает эффективность резонанса.

Итак, для лучшего использования мышечной энергии в скоростно-силовых движениях целесообразно:

- 1) волокна мышцы в подготовительной фазе значительно растянуть (зона больших деформаций в косоволокнистых мышцах);
- 2) при растягивании волокон передать им больше кинетической энергии (разогнать звено до большой скорости и резко остановить);
- 3) в обратном движении в критической точке своевременно совершить активное сокращение мышцы по принципу автоколебаний, наиболее акцентированное с самого начала («взрывная» сила).

Совершенствование скоростно-силовых движений, характерных для спортивной техники в одиночных возвратных движениях и в циклических колебательных движениях, имеет много общего. В основе его лежит перестройка биоэнергетики; изменение вклада энергии из разных источников, изменение организации управления энергетикой. Это одно из самых характерных отличий совершенствования биосистем от совершенствования технических механизмов. Как видно, мышца в этом



отношении имеет много функций: 1) генератор механической энергии из химической; 2) трансформатор механической энергии (из потенциальной в кинетическую и обратно); 3) аккумулятор упругой энергии в мышце (в резонансном режиме); 4) движитель, передающий механические усилия звеньям тела; 5) фиксатор звеньев в суставах (при опорных тягах); 6) регулятор величины и направления скорости (в биодинамически полносвязном механизме); 7) демпфер, поглощающий и рассеивающий энергию (при погашающей амортизации); 8) упругий амортизатор (создающий обратное движение в возвратном и колебательном режиме). Следует упомянуть, что мышца еще и рецептор — она сигнализирует своими органами чувств (проприорецепторами) о положениях и движениях, без чего невозможно полноценное управление ими. Превращая химическую и механическую энергию в тепловую (и рассеивая ее), мышца еще участвует и в терморегуляции тела.

## § 25. Биомеханика дыхательных движений

В основе биомеханики дыхания лежат периодические изменения объема грудной полости — увеличение при вдохе и уменьшение при выдохе. Внутригрудное давление при вдохе вследствие увеличения объема грудной полости становится меньше атмосферного, легкие растягиваются, их объем увеличивается — в них поступает атмосферный воздух. Объем грудной полости возрастает за счет движения грудины и ребер и, самое главное, — уплощения диафрагмы. Вдох обеспечивается активностью дыхательных мышц, главной из которых является диафрагма. Выдох в покое происходит пассивно за счет упругих сил. Главную роль играют эластичные свойства легких. При напряженной физической работе выдох происходит активно за счет мышц брюшного пресса (главным образом косых мышц и поперечной мышцы живота, в меньшей степени — прямой мышцы живота). При выдохе повышается внутрибрюшное давление, из-за чего диафрагма принимает сферически выпуклую форму, оставаясь расслабленной.

Правильное сочетание дыхательных движений с движениями тела или отдельных его звеньев является существенной стороной спортивной техники во многих видах спорта (например, в плавании). Постановка правильного дыхания вообще одна из частных оздоровительных задач физического воспитания.

Существуют три основных типа дыхания: грудное, диафрагмальное и смешанное. Наиболее рациональное — смешанное дыхание. Для проверки типа дыхания можно воспользоваться следующим простым приемом: положить одну руку на переднюю стенку живота, другую на грудную клетку. При смешанном дыхании в начале вдоха несколько выпячивается живот, затем вдох продолжается за счет подъема грудной клетки.

При выполнении физических упражнений существуют два основных способа сочетания фаз дыхания с движениями:

1) «анатомический»: при движениях, которые способствуют увеличению объема грудной клетки, — вдох, а уменьшению — выдох. Например, при выпрямлении туловища, поднимании и отведении рук,



разгибании ног — вдох; при наклоне туловища, приведении рук, сгибании ног — выдох;

2) «биомеханический»: выдох сочетается с фазами движений, в которых спортсмен проявляет наибольшую силу действия, вдох — с фазами относительного расслабления. Например, в академической гребле выдох производят во время гребка, а вдох — при проносе весла, хотя по анатомическим соображениям надо было бы делать наоборот.

Самая большая мышечная сила проявляется при натуживании, несколько меньшая — при выдохе, еще меньшая — при вдохе (В. С. Фарфель). Это объясняется, во-первых, рефлекторным повышением функционального состояния скелетных мышц при раздражении рецепторов легких (так называемым пневмомускульным рефлексом); во-вторых, повышением внутрибрюшного давления при натуживании за счет активности брюшного пресса, что в некоторых движениях (например, подъем тяжелого груза с земли) довольно значительно (на 8—10%) уменьшает нагрузку, приходящуюся на длинные мышцы спины. Если силовые упражнения делаются с натуживанием (т. е. с напряжением мышц, обеспечивающих выдох, но при закрытой голосовой щели), то перед их выполнением не надо делать глубокого вдоха, так как это неоправданно увеличит внутригрудное давление.

При напряженной физической работе, когда надо обеспечить максимальную легочную вентиляцию, правильным является частое, достаточно глубокое дыхание через рот. При редком дыхании и дыхании через нос не удастся достичь предельных величин вентиляции легких. При дыхании следует акцентировать выдох, а не вдох. Тогда поступающий в легкие богатый кислородом воздух будет смешиваться с меньшим количеством остаточного и резервного воздуха, в котором содержание  $O_2$  значительно ниже, а содержание  $CO_2$  выше, чем в атмосферном.

## Глава V

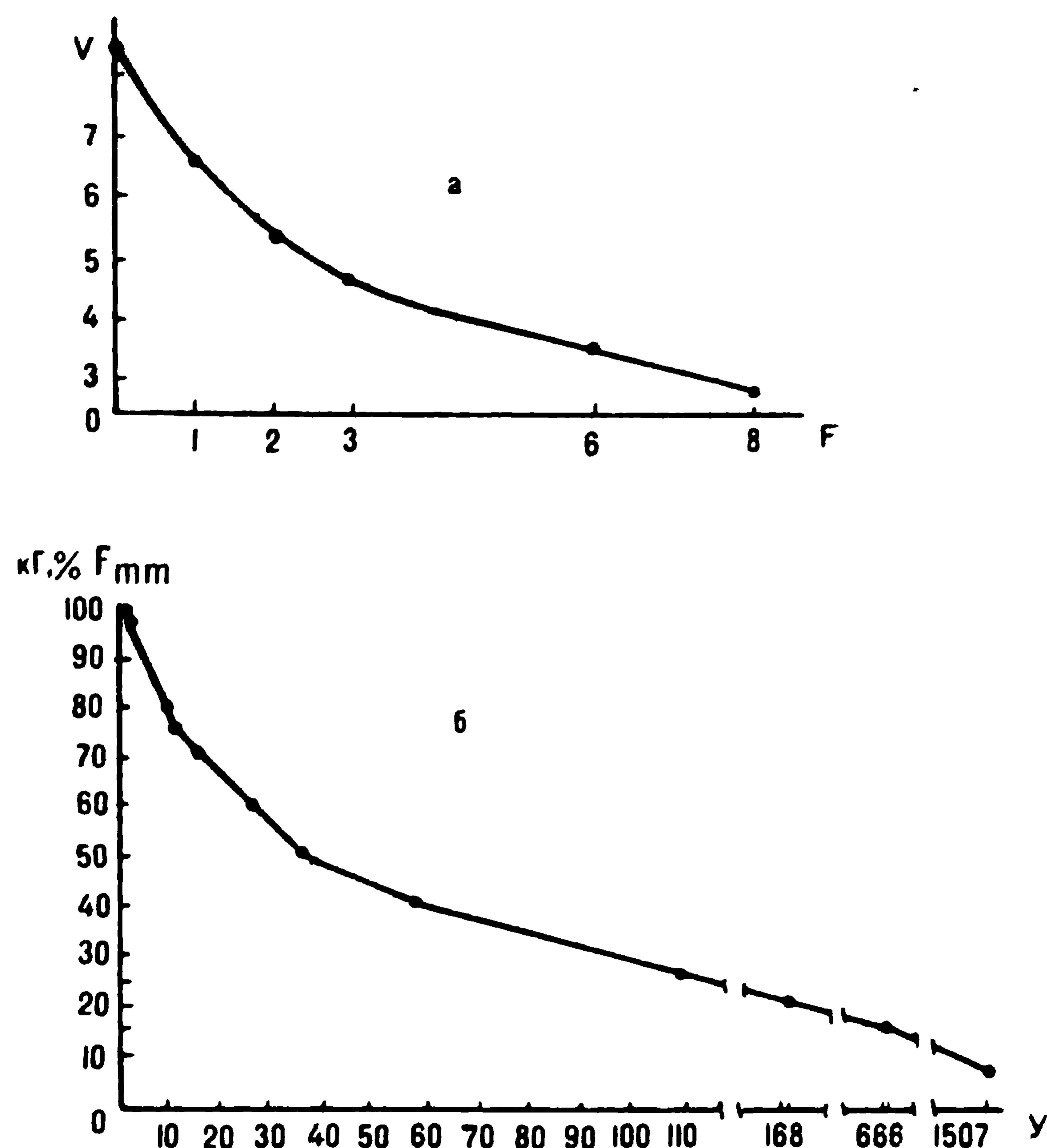
### БИОМЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ

#### § 26. Понятие о двигательных качествах

Каждый человек обладает определенными двигательными возможностями (например, может поднять какой-то вес, пробежать сколько-то метров за определенное время). Совокупность двигательных возможностей человека принято называть *моторикой*. Двигательные возможности людей, естественно, различны. Разные двигательные задания (даже в одном движении, например беге, плавании) также могут весьма значительно (качественно) отличаться друг от друга. Так, спринтерский бег и марафонский бег предъявляют организму качественно различные требования, вызывают проявление разных двигательных качеств. *Двигательными (или физическими) качествами принято называть отдельные качественно различные стороны моторики человека.*

Понятие «двигательное качество» объединяет, в частности, те стороны моторики, которые: 1) проявляются в одинаковых характе-





**Рис. 41.**

Параметрические зависимости между показателями силы ( $F_m$ ), скорости ( $v_m$ ) и длительности ( $t_m$ ) в разных двигательных заданиях.

Обратите внимание на внешнее сходство параметрических зависимостей между разными показателями.

а — параметрическая зависимость между силой и скоростью (связь «сила — скорость»).

Испытуемые должны были с максимальной скоростью поднимать прямой рукой гантели весом 1,2, 3,6 и 8 кг. Они выполняли также мах свободной рукой.

По абсциссе — сила (кг). По ординате — скорость (рад/с);

б — параметрическая зависимость между силой и предельным временем выполнения двигательных заданий (связь «сила — время»).

Испытуемый (один из сильнейших борцов страны) в разные дни выжимал лежа «до отказа» веса, равные от 100 до 12% своей максимальной силы. Подъемы проходили под метроном с частотой 1 подъем в 2,5 с.

По ординате — сила (в % от  $F_{mm}$ ). По абсциссе — число подъемов и время работы ( $t_m$ )

Например, прыгнуть вверх с места на наибольшую высоту (т. е. оттолкнуться с максимальной скоростью), подтянуться на перекладине возможно большее число раз, пробежать 100 м за наименьшее время (с наибольшей средней скоростью). Зарегистрированные при этом значения  $F_m$ ,  $v_m$  и  $t_m$  называют соответственно максимальными силой, скоростью или длительностью двигательного задания (подстрочный символ  $m$  от лат. maximum — максимальный, наивысший). Эти значения зависят от задаваемых условий (параметров) движения. Такими параметрами является, в частности, длина дистанции, вес снаряда. Если параметры двигательных заданий меняются, то меняются и названные

ристиках движения и имеют один и тот же измеритель (например, максимальную скорость); 2) имеют аналогичные физиологические и биохимические механизмы и требуют проявления сходных свойств психики.

Как следствие этого методики совершенствования определенного двигательного качества имеют общие черты независимо от конкретного вида движения. Например, выносливость в плавании и конькобежном спорте совершенствуют во многом сходными путями, хотя сами эти движения резко различны. Измерителями таких двигательных качеств, как мышечная сила, быстрота, выносливость, являются сила, скорость и длительность (время) движения. Сила ( $F$ ), скорость ( $v$ ) и длительность ( $t$ ) движения находятся в определенном соотношении друг с другом. Это соотношение различно в разных двигательных заданиях.

Двигательным заданием называют движение со строго оговоренными условиями (параметрами) его выполнения<sup>1</sup>. Например, не бег или толкание ядра вообще, а конкретно бег 200 м и толкание ядра весом 7257 г. Бег 200 и 400 м или толкание ядра 4 и 5 кг являются разными двигательными заданиями. В некоторых попытках спортсменов может поставить перед собой задачу показать наилучший результат.

<sup>1</sup> Параметром в науке называется переменная величина, которая в условиях конкретной рассматриваемой задачи остается постоянной. Параметры следует отличать от констант — величин, значения которых постоянны всегда.



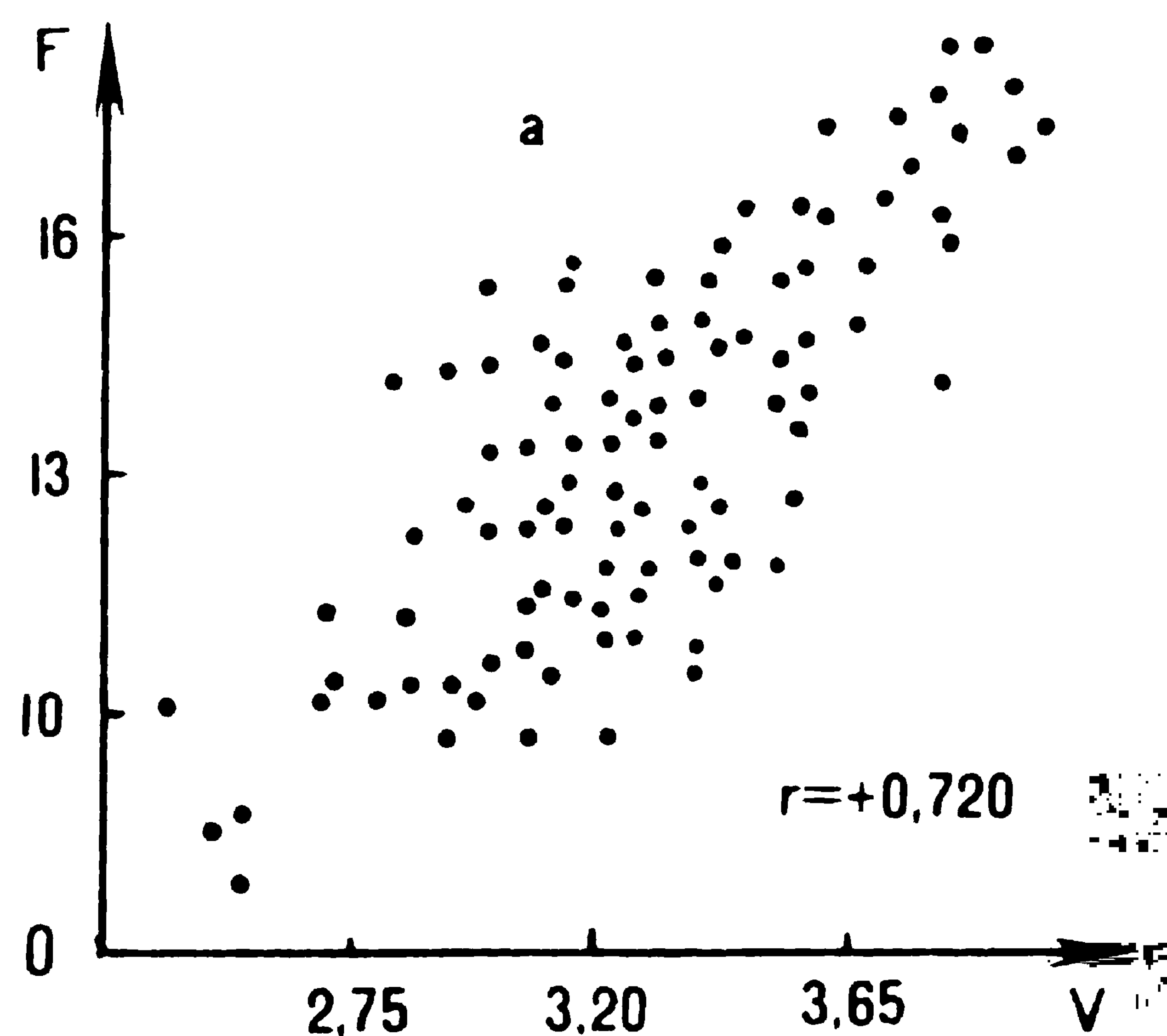
значения. Зависимости между показателями максимальной силы, скорости и длительности в разных двигательных заданиях, отличающихся значениями своих параметров (весом снаряда, длиной дистанции, заданной скоростью передвижения и т. п.), называют параметрическими зависимостями (примеры см. на рис. 41). Они получены в условиях, когда спортсмены пытались показать максимальный для себя результат ( $F_m$ ,  $v_m$  или  $t_m$ ), но изменение параметров (условий) заданий приводило к тому, что эти результаты оказывались различными.

При некоторых значениях задаваемых параметров (оптимальном весе штанги или ядра, оптимальной длине дистанции и пр.) спортсмен может показать самые большие величины  $F_m$ ,  $v_m$  и  $t_m$ . Такие величины называют лимитными (от лат. limitis — граница, предел) показателями соответствующего движения (бега, плавания брассом, прыжка вверх с места и т. п.) и обозначают с помощью подстрочных символов  $mm$  (от латинского выражения maximum — наивысший среди максимальных). Так, например,  $F_{mm}$  и  $v_{mm}$  при толкании ядра — наивысшие сила и скорость, зарегистрированные при толкании ядер разного веса.

Часто интересно знать, как зависят между собой лимитные значения  $F_{mm}$ ,  $v_{mm}$  и  $t_{mm}$  с одной стороны, и величины  $F_m$ ,  $v_m$  и  $t_m$  в отдельных двигательных заданиях — с другой. Например, есть ли связь между максимальной силой разгибателей ног ( $F_{mm}$ ) и скоростью отталкивания в прыжках ( $v_m$ ), т. е. будут ли более сильные спортсмены выше прыгать? Или зависят ли результаты в беге на 800 м ( $t_m$ ) от лимитных значений скорости бега ( $v_{mm}$ )? Подобного рода зависимости ( $F_{mm} - v_m$ ,  $F_{mm} - t_m$ ,  $v_{mm} - t_m$  и др.) называют непараметрическими (рис. 42).

Параметрические и непараметрические зависимости связаны друг с другом и могут быть представлены в единой трехмерной схеме (рис. 43).

Измерителями таких двигательных качеств, как мышечная сила, быстрота и выносливость, являются максимальные (в частности, лимитные) значения  $F$ ,  $v$  и  $t$  соответствующих двигательных заданий.



б

Абс сила	55	60	65	70	75	80	85
26 - 30				2	2	4	5
21 - 25				3	7	3	2
16 - 20			7	23	10	3	3
11 - 15		11	4	13	7		
6 - 10	11	24	16				
0 - 5	17	2	3				

$r=0.909$

**Рис. 42.**

Непараметрические связи «сила — скорость» и «сила — время».

*а* — связь «сила — скорость». Условия эксперимента описаны в подписи к рис. 41, *а*.

По ординате — максимальная сила сгибателей плеча при угле в плечевом суставе  $90^\circ$  ( $F_{mm}$ ); по абсциссе — скорость сгибания в плечевом суставе, рука выпрямлена, вес гантели 6 кг ( $r = +0.720$ ; 100 испытуемых);

*б* — связь «сила — время».

По абсциссе — максимальная сила в жиме лежа ( $F_{mm}$ ). По ординате — предельное время выполнения задания и число подъемов штанги 50 кг. В клетках корреляционной таблицы — число случаев, встретившихся в соответствующем интервале. Например, среди испытуемых, имевших максимальную силу ( $F_{mm}$ ) 65 кг, 7 человек выжали штангу 50 кг от 16 до 20 раз, 3 человека выжали эту штангу менее 5 раз ( $r = 0.909$ , 182 испытуемых)



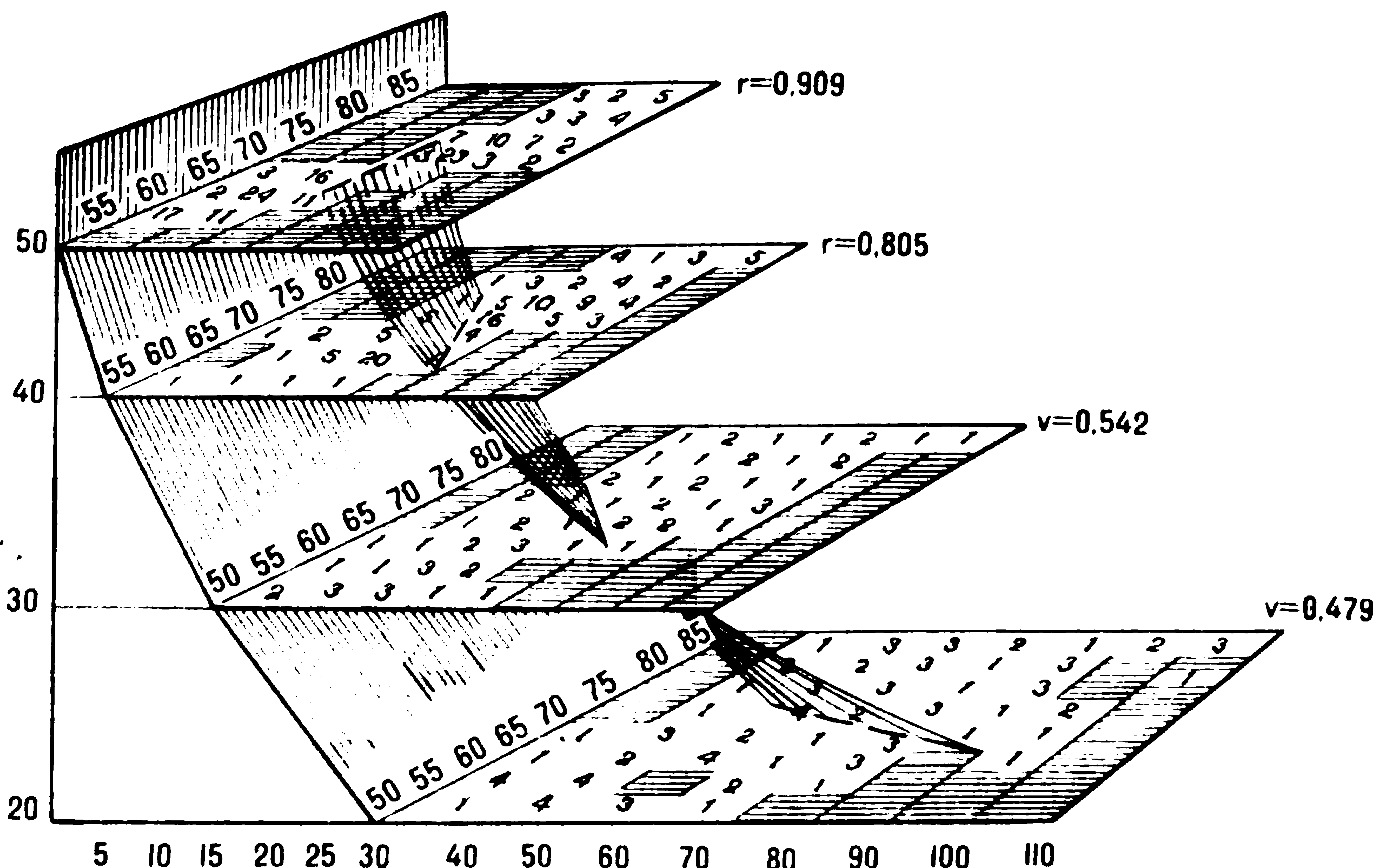


Рис. 43.

Зависимость «сила — время» (параметрические и непараметрические).

Условия опытов описаны в подписях к рис. 41, б и 42, б.

По абсциссе — предельное время ( $t_m$ ) и число подъемов штанги. По ординате — максимальная сила в жиме лежа ( $F_{mm}$ ). По аппликате (вертикальной оси) — вес поднимаемой штанги (средняя сила, которую проявляют испытуемые при подъеме штанги, естественно, равна этому весу).

Горизонтальные плоскости соответствуют непараметрическим связям «сила — время» (в частности, плоскость, соответствующая аппликате 50 кг, это рис. 42, б). Кривые линии, пересекающие горизонтальные плоскости, соответствуют параметрическим зависимостям двух испытуемых (для наглядности проведены семейства кривых).

## § 27. Биомеханическая характеристика силовых качеств

### 27.1. Сила действия человека

В биомеханике силой действия человека (см. § 10) называется сила воздействия его на внешнее физическое окружение, передаваемая через рабочие точки своего тела. Примером могут быть сила давления на опору, сила тяги за рукоятку станкового динамометра и т. п.

Сила действия человека (СДЧ), как и всякая другая сила, может быть представлена в виде вектора и определена указанием: 1) направления, 2) величины (скалярной) и 3) точки приложения (рис. 44).

Сила действия человека зависит от состояния данного человека и его волевых усилий, т. е. стремления проявить ту или иную величину силы, в частности максимальную силу, а также от внешних условий, в частности от параметров двигательных заданий.

### 27.2. Понятие о силовых качествах

Силовые качества характеризуются максимальными величинами силы действия ( $F_{mm}$ ), которую может проявить тот или иной человек. Вместо термина «силовые качества» используют также термины



«мышечная сила», «силовые возможности», «силовые способности».

Наиболее распространенной является следующая классификация силовых качеств:

Силовые качества	Условия проявления
1. Собственно-силовые (статическая сила)	Статический режим и медленные движения
2. Скоростно-силовые: а) динамическая сила б) амортизационная сила	Быстрые движения Уступающие движения

Вопросы биомеханики скоростно-силовых качеств рассмотрены в § 28.

### 27.3. Сила действия человека и сила мышц

Сила действия человека непосредственно зависит от сил тяги мышц, т. е. сил, с которыми отдельные мышцы тянут за костные рычаги. Однако между натяжением той или иной мышцы и силой действия нет однозначного соответствия. Это объясняется, во-первых, тем, что почти любое движение происходит в результате сокращения большого числа мышечных групп; сила действия — итог их совместной активности; и, во-вторых, тем, что при изменении суставных углов меняются условия тяги мышц за кость, в частности плечи сил мышечной тяги (подробнее см. § 13). Поэтому закономерности биодинамики мышц, рассмотренные в гл. III, проявляются в движениях человека в более сложном, как бы завуалированном виде (еще и потому, конечно, что на проявления силы действия в решающей мере влияют физиологические и психологические факторы).

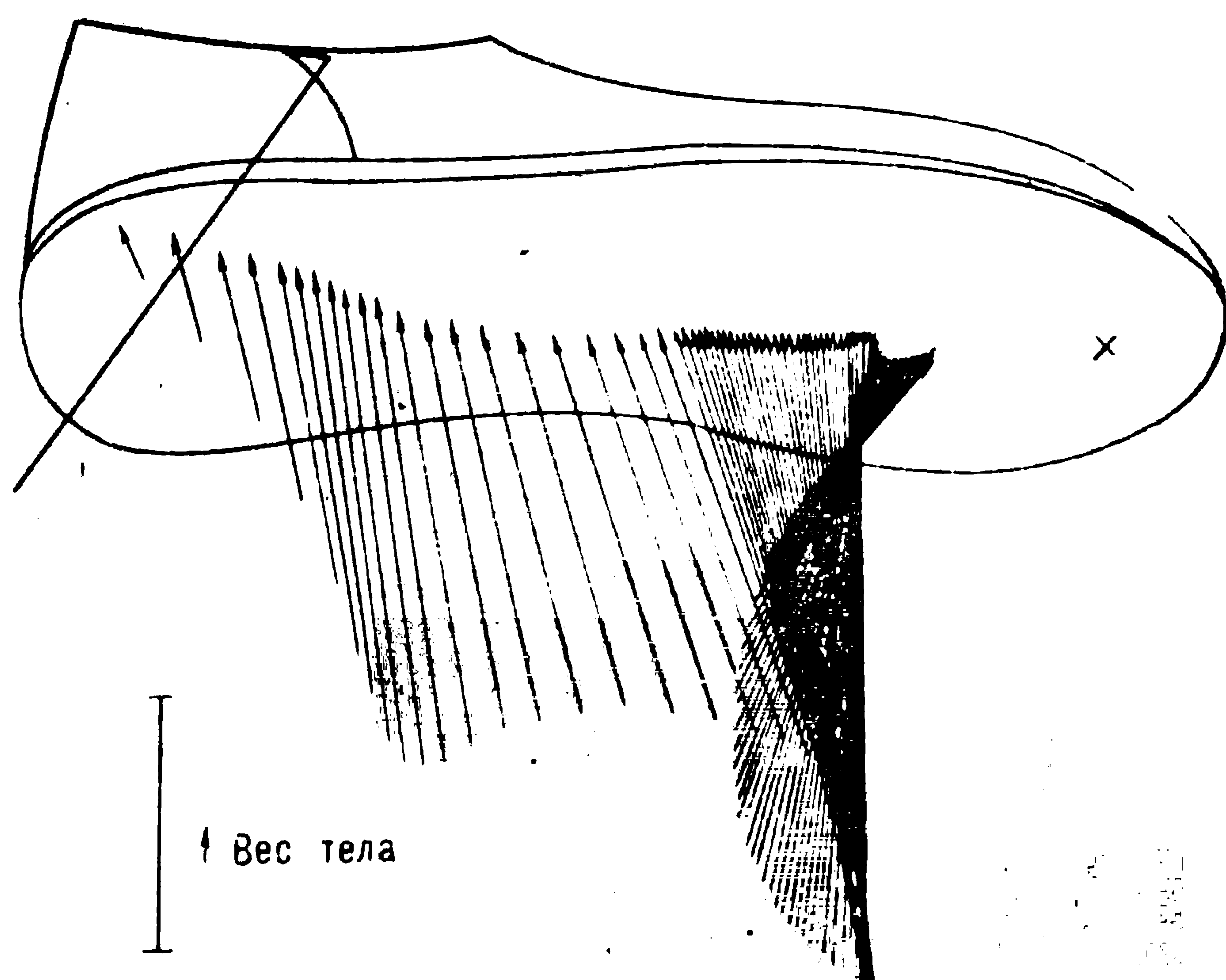


Рис. 44.

Изменение равнодействующей опорной реакции при медленном беге. Сила изменяется по величине, направлению и точке приложения

### 27.4. Зависимость силы действия от параметров двигательных заданий

Рассмотрим зависимость силы действия от таких характеристик двигательных заданий, как: а) скорость движущегося звена тела, б) направление движения.

**Связь «сила действия — скорость».** Если толкать ядра различного веса, измеряя скорость вылета ядра и проявленную силу действия, то сила и скорость будут находиться в обратно пропорциональной зависимости: чем выше скорость, тем меньше проявленная сила, и наоборот. В крайнем случае, когда ядро будет



настолько тяжелым, что его уже нельзя сдвинуть с места, можно проявить наибольшую силу действия (статическое усилие, скорость равна нулю). Наоборот, при движении свободной руки (масса «ядра», а следовательно, и сила действия, приложенная к нему, равны нулю) скорость будет наибольшей. При толкании обычного ядра скорость и сила имеют какие-то средние величины.

Когда зависимость «сила — скорость» изучается в лабораторных условиях на изолированных мышцах, получаются весьма точные зависимости, характеризуемые уравнением Хилла (см. 14.3). «Кривая Хилла» сохраняет свою форму, если в эксперименте удастся зарегистрировать силу и скорость сокращения отдельной мышцы у человека (это пока можно сделать только на больных после определенных ортопедических операций).

При регистрации же силы действия, обусловленной совокупной активностью многих мышц, картина несколько сложнее. Так, в односуставных движениях зависимость, как правило, полностью со-

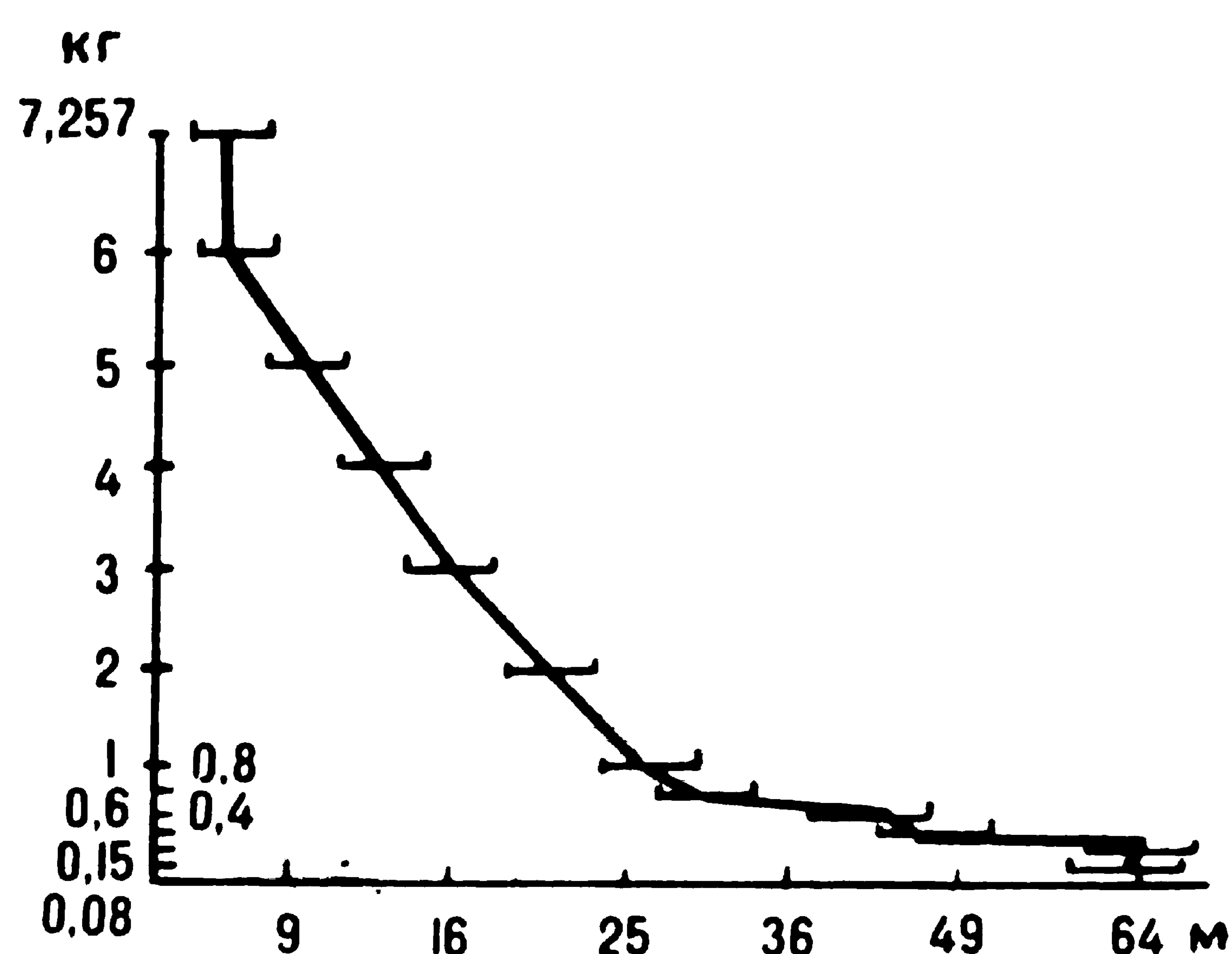


Рис. 45.

Параметрическая зависимость между весом снаряда и результатами в метаниях (Е. Н. Матвеев).

По ординате — вес снаряда (кг). По абсциссе — значение квадратного корня из показателей в метаниях. Поскольку результат в метаниях пропорционален квадрату скорости вылета снаряда, данные по оси абсцисс примерно пропорциональны скорости вылета. Горизонтальными чертами отмечены стандартные отклонения от средних величин.

Условия метания: стоя лицом по направлению метания, рука с ядром вверх, разноименная нога сзади, с шагом и постановкой ноги — бросок

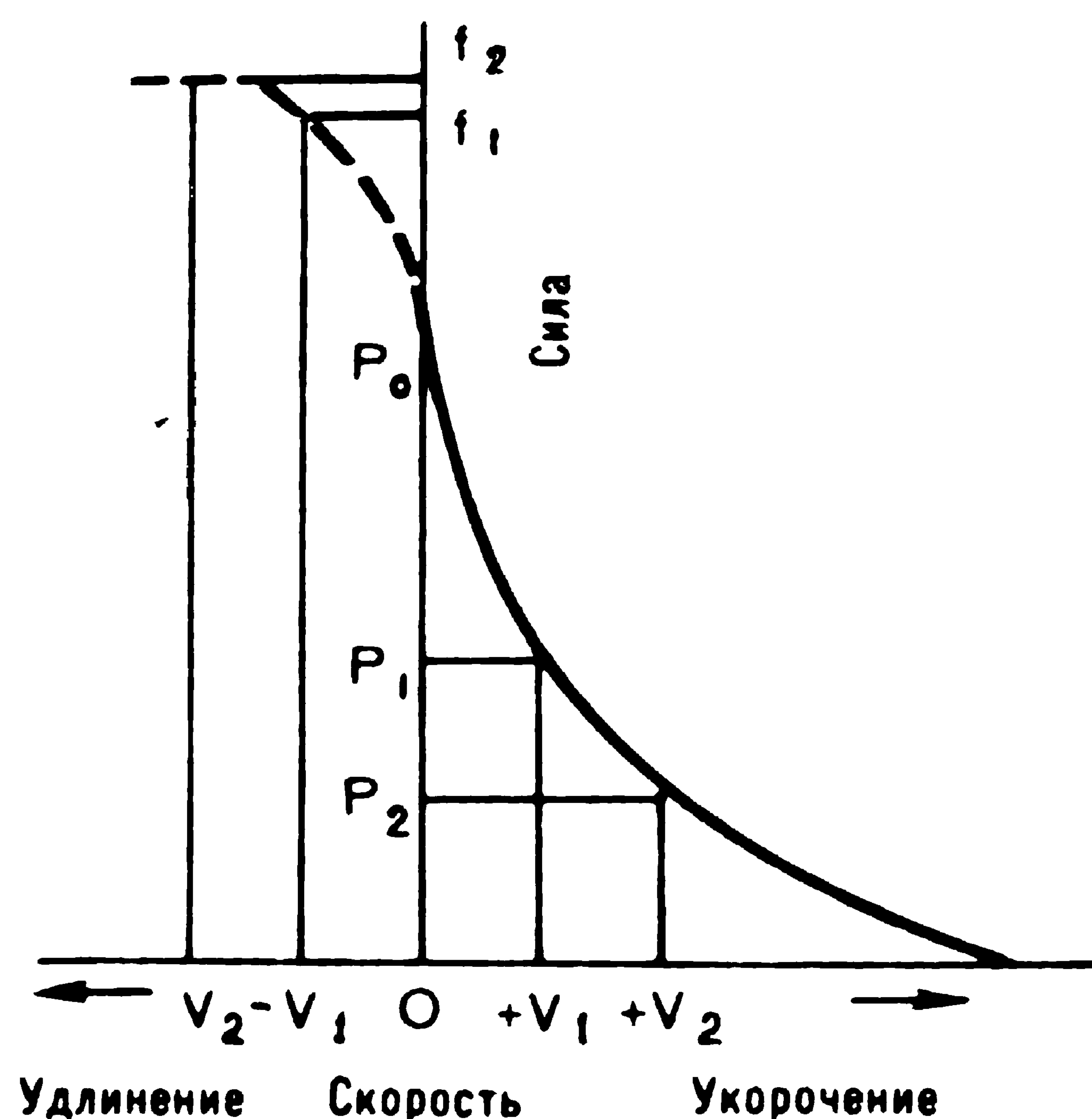


Рис. 46.

Связь между силой и скоростью в преодолевающих и уступающих движениях:

$v_1$  и  $v_2$  — скорость уменьшения и увеличения длины мышцы,  $p_1$  и  $p_2$  — соответствующие этим скоростям величины силы в преодолевающем (миометрическом) режиме;  $f_1$  и  $f_2$  — соответствующие величины силы в уступающем (плиометрическом) режиме;  $p_0$  — максимальная изометрическая сила

храняется. В многосуставных движениях «на краях» зависимости (т. е. в зонах очень больших сил или очень больших скоростей) характер зависимости подчас меняется. Например, при метании с места ядер разного веса оказывается, что ядро весом 150 г спортсмены высокой квалификации метают дальше (т. е. выбрасывают его с большей скоростью), чем более легкое ядро (шарик) — весом 80 г (рис. 45). Наиболее вероятная причина этого — стремление предохранить руку от травмы. Однако в принципе, в общих чертах обнаруженная на отдельных мышцах зависимость между силой и скоростью сокращения проявляется и в сложнокоординированных движениях человека.



**Связь «сила действия — направление движения».** Сила действия в уступающих движениях может значительно (до 50—100%) превосходить максимальную изометрическую силу человека. Например, сила действия, проявляемая при приземлении с большой высоты, больше той, которую спортсмен может проявить в отталкивании. Очень часто максимальные величины силы действия проявляются именно в уступающих фазах движения. Сила действия в уступающем режиме зависит от скорости. Чем быстрее происходит растягивание активных мышц, тем бóльшую силу они проявляют (рис. 46).

## 27.5. Положение тела и сила действия человека

Сила действия человека зависит от положения его тела. Эту зависимость определяют следующие основные причины.

Первая: с изменением положения сустава изменяется длина мышц. Сила же, проявляемая мышцей, зависит от ее длины (см. §14). Приблизленно можно считать, что максимальная сила, проявляемая мышцей, падает пропорционально квадрату уменьшения ее длины. Наименьшие величины натяжения мышца проявляет при своем наибольшем укорочении.

Вторая: изменение плеча силы тяги мышцы относительно оси вращения. Известно, что в механике плечом силы называется кратчайшее расстояние (перпендикуляр) от оси вращения до линии действия силы. Характерное для двигательного аппарата человека близкое прикрепление мышц к оси вращения приводит к тому, что в большинстве движений достигается выигрыш в скорости и расстоянии за счет проигрыша в силе. Так, при угле равном  $90^\circ$  в локтевом суставе сгибатели его (в частности, двуглавая мышца плеча) проигрывают в силе приблизительно в 10 раз; в области ахиллова сухожилия при отталкивании стопой наблюдается перегрузка примерно в 3 раза и т. п. При изменении суставного угла плечо тяги мышц меняется, в результате меняется и создаваемый ими вращательный момент силы. Например, плечо силы длинной головки двуглавой мышцы плеча зависит от суставного угла следующим образом:

Суставной угол (угловые градусы)	180	160	140	120	100	80	60
Плечо силы тяги мышцы (мм)	11,5	16,8	26,9	37,4	43,5	45,5	39,2

Как видно, плечо силы меняется примерно в 4 раза. Следовательно, если натяжение мышцы будет одним и тем же, то при изменении угла сила действия может увеличиться или уменьшиться в 4 раза.

Указанные причины — изменение длины мышц и плеч сил мышечного натяжения — обуславливают то, что для каждого односуставного движения существует определенная зависимость между суставным углом и максимальной силой действия. Когда в движении участвуют многосуставные мышцы (а в спорте так бывает в большинстве случаев), картина усложняется, поскольку длина этих мышц зависит от положения в соседних суставах. Например, максимальная сила



действия при сгибании в коленном суставе зависит от угла не только в этом суставе, но и в тазобедренном.

Тренеры должны хорошо знать, как изменяется сила действия спортсмена при разных положениях его тела в соревновательном движении, — без этого нельзя найти наилучший вариант техники.

### 27.6. Выбор положения тела при тренировке силы

При выборе силовых упражнений прежде всего необходимо убедиться в том, что в них будут активны именно те мышцы, силу которых надо увеличить. При этом следует иметь в виду, что подчас даже небольшие изменения положения тела могут привести к тому, что активными станут совершенно иные мышечные группы.

Если, например, спортсмен выполняет приседание со штангой 50 кг на плечах и находится в одной из поз, показанных на рис. 47, то моменты силы, действующие в отдельных суставах, будут совершенно различны (табл. 4), хотя сила действия везде одинакова — 50 кг. Кроме величины силовых моментов меняется и направление их действия — сгибание вместо разгибания. Так, например, работают мышцы коленного сустава в позе Г: хотя в суставе происходит разгибание, активны в этот момент мышцы-сгибатели. Они препятствуют излишне быстрому разгибанию. Если бы активность их внезапно прекратилась, то произошло бы резкое разгибание в коленных суставах, поскольку в этой позе совместное действие сил тяжести штанги и вышележащих сегментов тела (туловища с головой и руками, бедер), а также силовых моментов мышечной тяги в тазобедренных суставах создает в коленных суставах вращательный момент силы, действующий в направлении разгибания.

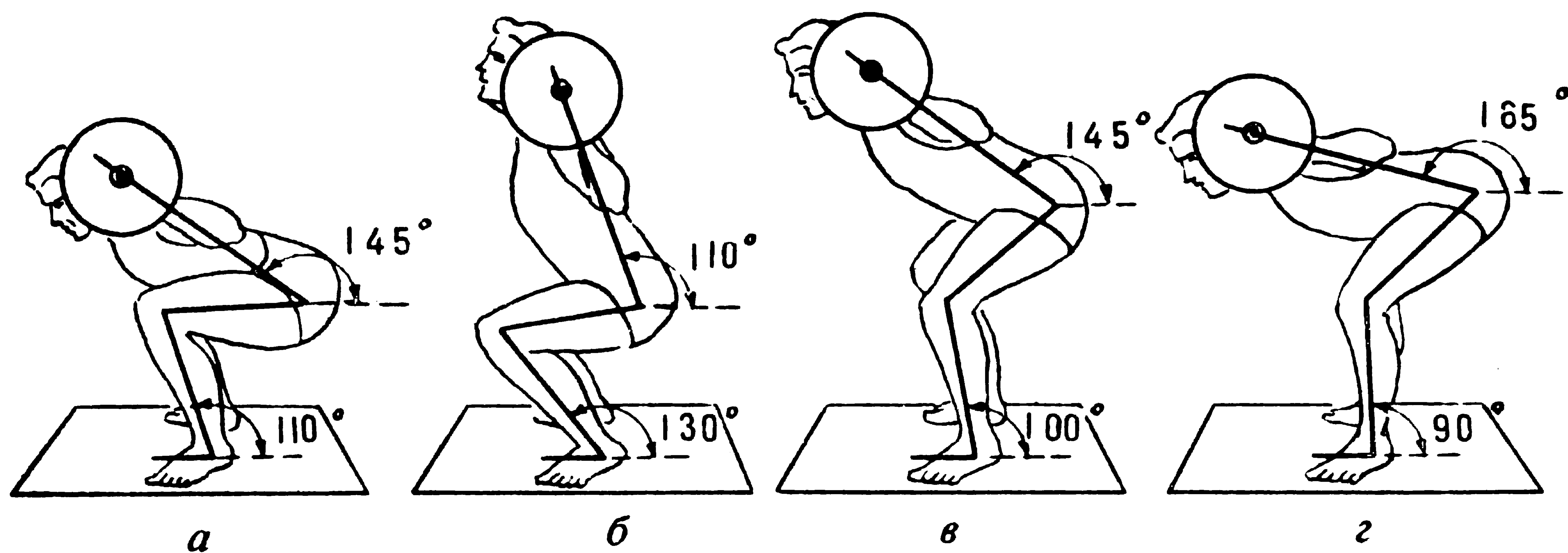


Рис. 47.

Варианты поз спортсмена при приседании со штангой 50 кг на плечах (по Плагенхофу). В каждом из этих положений сила действия одинакова ( $= 50$  кг), а вращательные моменты силы в суставах различны.

Наиболее точно определить, какая мышца и в какой степени принимает участие при выполнении того или иного упражнения, можно, зарегистрировав ее электрическую активность. В настоящее время во многих видах спорта составлены «электромиографические карты» активности мышц при выполнении как соревновательного, так и специальных упражнений.

Выбор разных положений тела при выполнении силовых упражнений (например, подъемы прямых ног в висе или в положении лежа на спине, упражнения для разгибателей ног, выполняемые в глубоком приседе или полуприседе) приводит к тому, что наибольшее натяжение



Т а б л и ц а 4

Вращательные моменты силы, создаваемые действием мышц в суставах нижних конечностей, при приседании со штангой весом 50 кг на плечах (ньютонометры, вес спортсмена 75 кг) — по Плагенхофу

Положение тела	Суставы		
	тазобедренный	коленный	голеностопный
А	+185	+ 70	+25
Б	+ 76	+175	+ 4
В	+185	+ 10	+38
Г	+218	— 22	+22

Знак «+» означает, что момент силы направлен на разгибание в суставе, знак «—» указывает действие момента в направлении сгибания.

активных мышц происходит при разной их длине. Экспериментально показано (Л. М. Райцин), что тренировка силовых качеств при растянутом положении активных мышечных групп вызывает меньший прирост силовых показателей, но более высокий их перенос на нетренируемые положения тела (по сравнению с тренировкой при укороченном положении тренируемых мышц). Наоборот, если максимальное натяжение активных мышц имеет место при наибольшем их укорочении, силовые качества растут быстрее. Однако в этом случае перенос на нетренируемые положения тела существенно ниже, чем при тренировке в условиях удлиненного состояния активных мышц.

При одной и той же силе действия и разных позах величины сил и силовых моментов, действующих в отдельных суставах, могут быть совершенно различны. При неправильно выбранной позе силы могут стать настолько большими, что приведут к травме. Такие — опасные! — позы тела называют критическими. При правильной технике выполнения упражнения спортсмен избегает критических поз (т. е. не перегружает опасно мышцы и связки какого-либо сустава).

27.7. Топография силы

Соотношение максимальной силы действия разных мышечных групп получило название топографии силы. Чтобы получить относительно полное представление о топографии силы у какого-либо человека, надо измерить силу возможно большего числа его мышечных групп.

У людей, не занимающихся спортом, обычно лучше всего развиты мышцы, противодействующие силе тяжести (так называемые антигравитационные мышцы): разгибатели спины и ног, сгибатели рук.

У спортсменов топография силы

Т а б л и ц а 5  
Коэффициенты корреляции (r) между показателями топографии силы и оценками за выполнение упражнений на брусьях у участников первенства Болгарии (58 испытуемых, по Н. Хаджиеву)

Показатель	r
Сила кисти	0,02
Отжимания в упоре	0,35
Подтягивание в висе	0,58
Угол в висе (с)	0,57



зависит от спортивной специализации. Во многих видах спорта обнаружена прямая зависимость между показателями топографии силы и спортивными результатами (табл. 5).

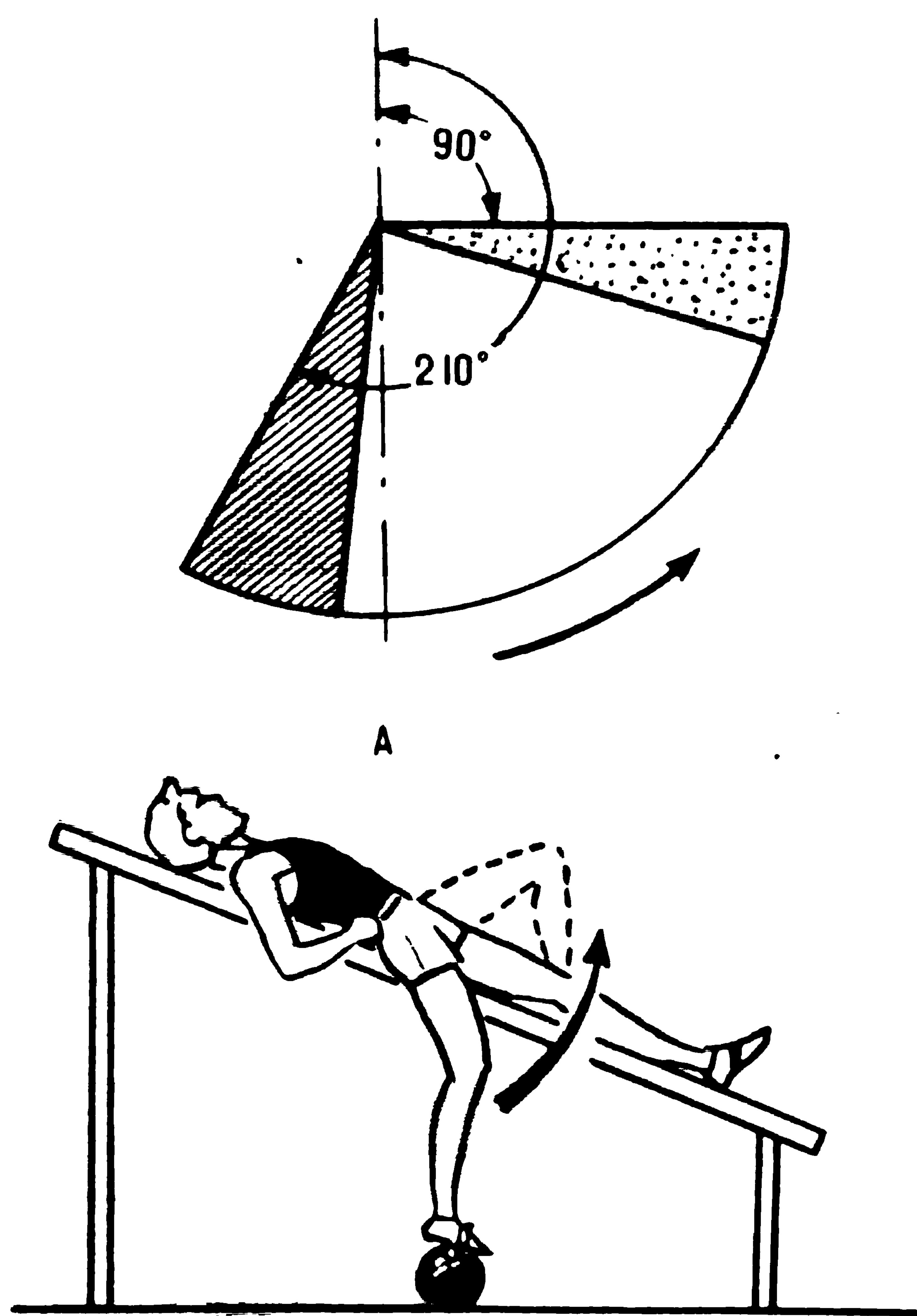
Из таблицы видно, что показатели силы кисти не связаны с успешностью выступления на брусках; возможности же спортсменов в таких тестах, как подтягивание в висе и удержание угла, прямо влияют на спортивные результаты.

Неправильная топография силы может препятствовать овладению рациональной техникой даже в том случае, если сила отдельных мышечных групп сама по себе достаточна для успешного обучения. Скажем, начинающих толкателей ядра, у которых сила разгибателей рук относительно превосходит силу нижних конечностей, трудно обучить рациональной технике толкания. Они стремятся выполнить его в основном за счет движения толкающей руки и мало используют мощные мышцы ног и туловища.

## 27.8. Биомеханические требования к специальным силовым упражнениям. Метод сопряженного воздействия

✓ Специальными, как известно, называются упражнения, предназначенные для совершенствования техники и двигательных качеств, проявляемых при выполнении основного соревновательного движения. Эти упражнения выполняют свое назначение, если они достаточно близки к соревновательному движению. С биомеханической точки зрения такие упражнения должны удовлетворять так называемому принципу динамического соответствия (по Ю. В. Верхошанскому), т. е. соответствовать соревновательному по следующим критериям: а) амплитуде и направлению движения, б) акцентируемому участку рабочей амплитуды движения, в) величине силы действия (или мышечной тяги), г) скорости развития максимума силы действия, д) режиму работы мышц.

Например, в легкой атлетике и сейчас еще нередко используют для развития силы мышц, сгибающих ногу в тазобедренном суставе, поднятие бедром диска от штанги (или другого отягощения) в положении стоя. Однако в этом упражнении ни амплитуда движения, ни, что еще более важно, акцентируемый участок движения не соответствуют таковым в беге и прыжках. Там акцентируемый участок



**Рис. 48.**

Вверху: рабочая амплитуда движения при сгибании бедра в беге и прыжках в длину.

Внизу: пример специального упражнения, где акцентируемый участок движения выбран правильно (по Ю. В. Верхошанскому, добавлено и переработано)



работы мышц-сгибателей бедра — в самом начале «выноса бедра» вперед при угле в тазобедренном суставе примерно  $210^\circ$ , а в поднимании бедром отягощения — при угле около  $90^\circ$ . Существует большое число специальных упражнений, где те же мышечные группы развиваются в условиях, гораздо более близких бегу и прыжкам (рис. 48).

В качестве специальных силовых упражнений в современном спорте часто используют основные соревновательные движения с искусственно увеличенным сопротивлением: метание утяжеленных снарядов, прыжки, бег, ходьбу с дополнительным отягощением (например, поясами или жилетами из просвинцованной резины), по песку или в гору и т. п. Поскольку при этом одновременно совершенствуются двигательные качества и техника движений, данное методическое направление получило название метода сопряженного воздействия (В. М. Дьячков).

## § 28. Биомеханическая характеристика скоростных качеств

### 28.1. Принятие о скоростных качествах

Скоростные качества характеризуются способностью человека совершать двигательные действия в минимальный для данных условий отрезок времени. При этом предполагается, что выполнение задания длится небольшое время и утомление не возникает.

Принято выделять три основные (элементарные) разновидности проявления скоростных качеств:

1) скорость одиночного движения (при малом внешнем сопротивлении); 2) частоту движений; 3) латентное время реакции.

Между показателями скорости одиночного движения, частоты движений и латентного времени реакции у разных людей корреляция очень мала. Например, можно отличаться очень быстрой реакцией и быть относительно медленным в движениях и наоборот. Имея это в виду, говорят, что элементарные разновидности скоростных качеств относительно независимы друг от друга.

В практике приходится обычно встречаться с комплексным проявлением скоростных качеств. Так, в спринтерском беге результат зависит от времени реакции на старте, скорости отдельных движений (отталкивания, сведения бедер в безопорной фазе) и частоты шагов. Скорость, достигаемая в целостном сложнокоординированном движении, зависит не только от скоростных качеств спортсмена, но и от других причин (например, скорость бега — от длины шагов, а та, в свою очередь, от длины ног, силы и техники отталкивания), поэтому она лишь косвенно характеризует скоростные качества, и при детальном анализе именно элементарные формы проявления скоростных качеств оказываются наиболее показательными.

В движениях циклического характера скорость передвижения непосредственно определяется частотой движений и расстоянием, проходимым за один цикл (длиной «шага»):

$$v = fl,$$

где  $v$  — скорость,  $f$  — частота,  $l$  — длина «шага».



С ростом спортивной квалификации (а следовательно, и с увеличением максимальной скорости передвижения) оба компонента, определяющие скорость передвижения, как правило, возрастают. Однако в разных видах спорта по-разному. Например, в беге на коньках основное значение имеет увеличение длины «шага», а в плавании — примерно в равной степени оба компонента. При одной и той же максимальной скорости передвижения у разных спортсменов могут быть значительные различия в длине и частоте шагов.

## 28.2. Динамика скорости

Динамикой скорости называется изменение скорости движущегося тела, то есть функция вида:  $v = f(t)$  либо  $v = f(l)$ , где  $v$  — скорость,  $t$  — время,  $l$  — путь,  $f$  — знак функциональной зависимости.

В спорте существуют два вида заданий, требующих проявления максимальной скорости. В первом случае необходимо показать максимальную мгновенную скорость (в прыжках — к моменту отталкивания; в метании — при выпуске снаряда и т. п.); динамику скорости при этом выбирает сам спортсмен (например, он может начать движение чуть быстрее или медленнее). Во втором случае необходимо выполнить с максимальной скоростью (в минимальное время) все движение (пример: спринтерский бег). Здесь тоже результат зависит от динамики скорости. Например, в спринтерском беге наилучший результат достигается в тех попытках, где мгновенные скорости на отдельных отрезках стартового разгона являются максимальными для данного человека.

Во многих движениях, выполняемых с максимальными скоростями, различают две фазы: 1) увеличения скорости (стартового разгона), 2) относительной стабилизации скорости (рис. 49). Характеристикой первой фазы является стартовое ускорение, второй — дистанционная скорость. Так, кривая скорости в спринтерском беге может быть описана уравнением:

$$v(t) = v_m(1 - e^{-kt}),$$

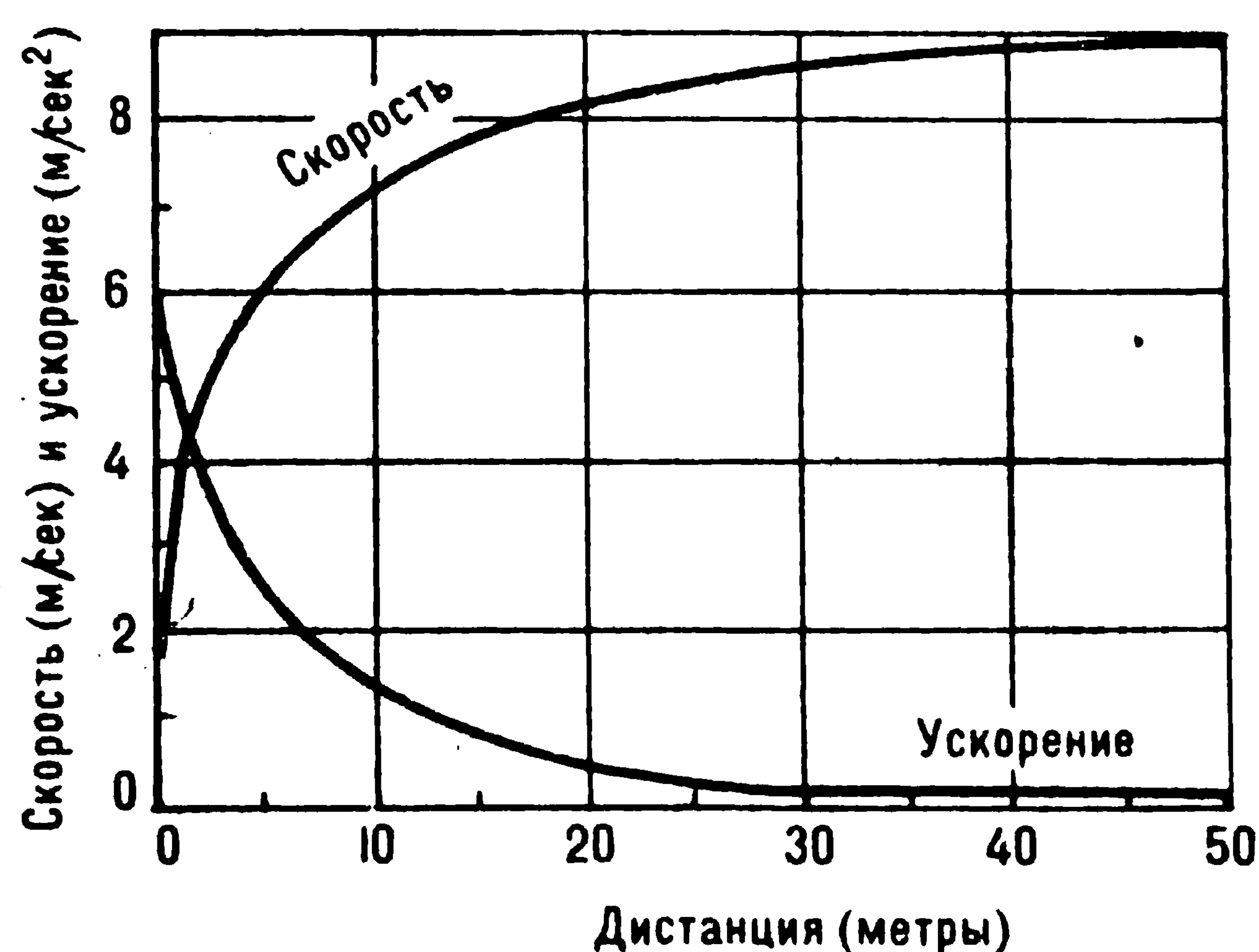


Рис. 49.

Скорость и ускорение в спринтерском беге (Ю. Н. Примаков). Значение скорости и ускорения — средние за цикл бега

где  $v(t)$  — значение скорости в момент времени  $t$ ;  $v$  — максимальное значение скорости;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $k$  — индивидуальный параметр, характеризующий ускорение при разгоне со старта. Чем больше величина  $k$ , тем быстрее достигает спортсмен своей максимальной скорости. Значения  $v_m$  и  $k$  не коррелируют между собой. Иными словами, способность быстро набирать «свою» максимальную скорость и способность передвигаться с большой скоростью относительно независимы друг от друга. Действительно, сильнейшие спринтеры достигают своей максималь-



ной скорости в беге примерно за то же время, что и новички, — через 5—6 с с момента ухода со старта. Можно обладать хорошим стартовым ускорением и невысокой дистанционной скоростью и наоборот. В одних видах спорта главным является стартовое ускорение (баскетбол, теннис, хоккей), в других важна лишь дистанционная скорость (прыжки в длину), в третьих существенно и то и другое (спринтерский бег).

### 28.3. Скорость изменения силы (градиент силы)

Слово «скорость» употребляется для обозначения не только быстроты изменения положения тела или его частей в пространстве, но и быстроты изменения других показателей (например, можно говорить о скорости изменения температуры). Сила действия, которую проявляет человек в одной попытке, непрерывно изменяется. Это вызывает необходимость изучения скорости изменения силы — градиента силы. Градиент силы особенно важен при изучении движений, где необходимо проявлять большую силу в возможно короткое время — «взрывом».

Математически градиент силы равен первой производной от силы по времени:  $\frac{dF}{dt}$ .

Кривая нарастания силы при однократном «взрывном» усилии с последующим немедленным расслаблением имеет вид, показанный на рис. 50. Для численной характеристики градиента силы используют обычно один из следующих показателей:

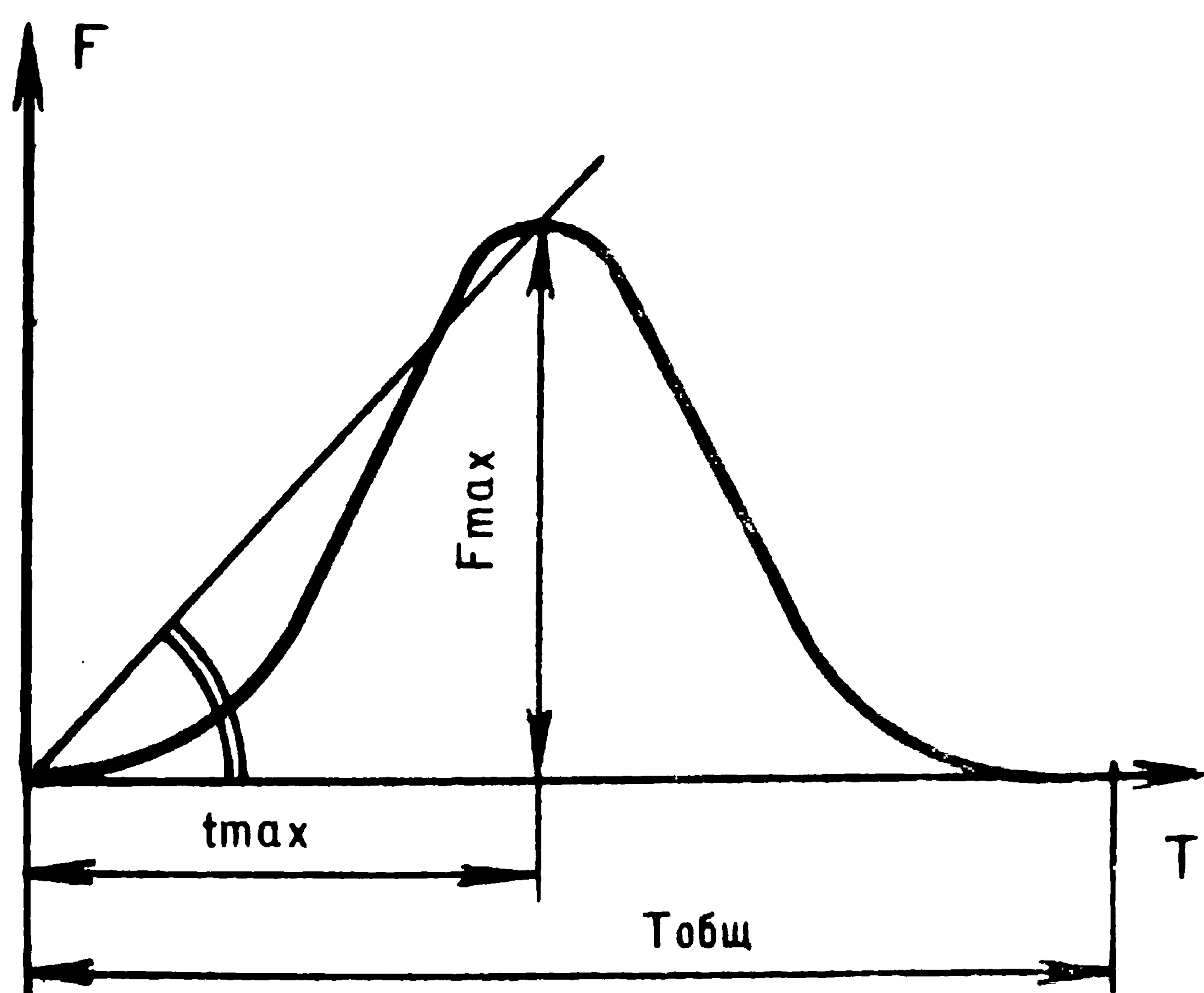


Рис. 50.

Регистрация показателей скорости нарастания силы (градиента силы):

$F_{max}$  — наивысшее значение силы,  $t_{max}$  — время достижения максимальной силы,  $F_{0,5max}$  — половина максимальной силы,  $t_{0,5max}$  — время достижения половины максимальной силы («половинное время»)

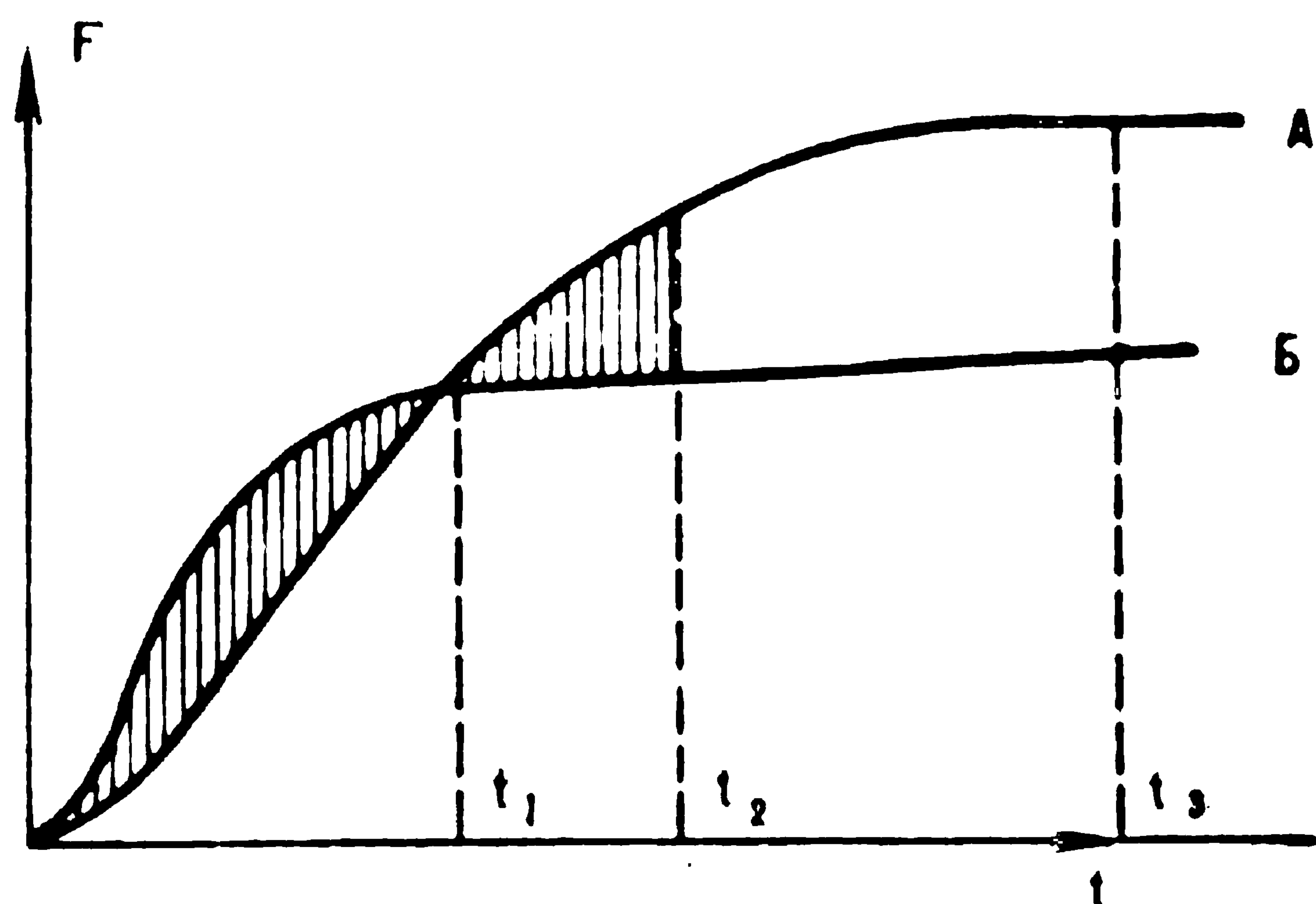


Рис. 51.

Кривые нарастания силы у двух спортсменов. Объяснения в тексте

1) время достижения силы, равной половине максимальной ( $t_{0,5max}$ ). Нередко именно этот показатель называют градиентом силы (такое словоупотребление удобно своей краткостью, но не вполне точно);

2) частное от деления  $F_{max} / t_{max}$ . Этот показатель называют скоростно-силовым индексом. Он равен тангенсу угла на рис. 50.

В тех случаях, когда речь идет о перемещении собственного тела



спортсмена (а не снаряда), удобно пользоваться так называемым коэффициентом реактивности (по Ю. В. Верхошанскому):

$$\frac{F_{max}}{t_{max} \cdot \text{вес тела спортсмена}}$$

Скорость нарастания силы играет большую роль в быстрых движениях. Ее практическое значение легко понять из рис. 51, где приведены кривые проявления силы двумя спортсменами — А и Б. У спортсмена А — большая максимальная сила и низкий градиент силы; у спортсмена Б, наоборот, градиент силы высок, а максимальные силовые возможности небольшие. При большой длительности движения ( $t > t_3$ ) когда оба спортсмена успевают проявить свою максимальную силу, преимущество оказывается у более сильного спортсмена А. Если же время выполнения движения очень коротко (меньше  $t_1$  на рис. 51), то преимущество будет на стороне спортсмена Б.

С ростом спортивной квалификации время выполнения движений обычно сокращается и поэтому роль градиента силы становится более значимой.

Время, необходимое для достижения максимальной силы ( $t_{max}$ ), составляет примерно 300—400 мс. Время проявления силы действия во многих движениях значительно меньше. Например, отталкивание в беге у сильнейших спринтеров длится менее 100 мс, отталкивание в прыжках в длину — менее 150—180 мс, отталкивание в прыжках в высоту — менее 250 мс, финальное усилие в метании копья — примерно 150 мс и т. п. Во всех этих случаях спортсмены не успевают проявить свою максимальную силу и достигаемая скорость зависит в значительной степени от градиента силы. Например, между высотой прыжка вверх с места и коэффициентом реактивности очень большая корреляция (прыгает выше тот спортсмен, кто при том же собственном весе может развить большую силу отталкивания за наименьшее время).

#### 28.4. Параметрические и непараметрические зависимости между силовыми и скоростными качествами

Если спортсмен несколько раз выполняет одно и то же движение (например, толкание ядра с места), стремясь показать в каждой попытке наилучший результат, а параметры двигательного задания (в частности, вес ядра) при этом меняются, то величины силы действия, приложенной к ядру, и скорость вылета ядра будут связаны друг с другом параметрической зависимостью (см. § 26 и рис. 45).

Под влиянием тренировки параметрическая зависимость «сила — скорость» может измениться по-разному. Это определяется тем, какие тренировочные средства и методы использовались спортсменом (рис. 52).

Существенно, что прирост скорости при движениях со средними сопротивлениями (а такими сопротивлениями в реальных спортивных условиях могут быть, например, вес и масса собственного тела или снаряда) может происходить при разном соотношении прироста силовых и скоростных качеств: в одних случаях (рис. 52, А) — за счет



роста скоростных качеств ( $v_{mm}$ ) в других (рис. 52, Б) — за счет роста силовых качеств ( $F_{mm}$ ).

Какой путь роста скоростных показателей является в тренировке более выгодным, зависит от многих причин (возраста спортсмена, стажа занятий, вида спорта и др.), и в частности от величины сопротивления (в % от  $F_{mm}$ ), которое приходится преодолевать спортсмену: чем оно больше, тем более важно повышение силовых качеств. Это подтверждается, в частности, величинами непараметрических зависимостей между показателями силовых качеств спортсмена ( $F_{mm}$ ) и скоростью выполнения движений ( $v_m$ ) при разных величинах сопротивления. Так, в одном из экспериментов (Ю. И. Смирнов) коэффициенты корреляции были равны: без отягощения — 0,131, с отягощением 1 кг — 0,327, с отягощением 3 кг — 0,630, с отягощением 8 кг — 0,824.

Поэтому чем больше величина преодолеваемого сопротивления, тем выгоднее в тренировке повышать скорость ( $v_m$ ) за счет роста силовых показателей ( $F_{mm}$ ).

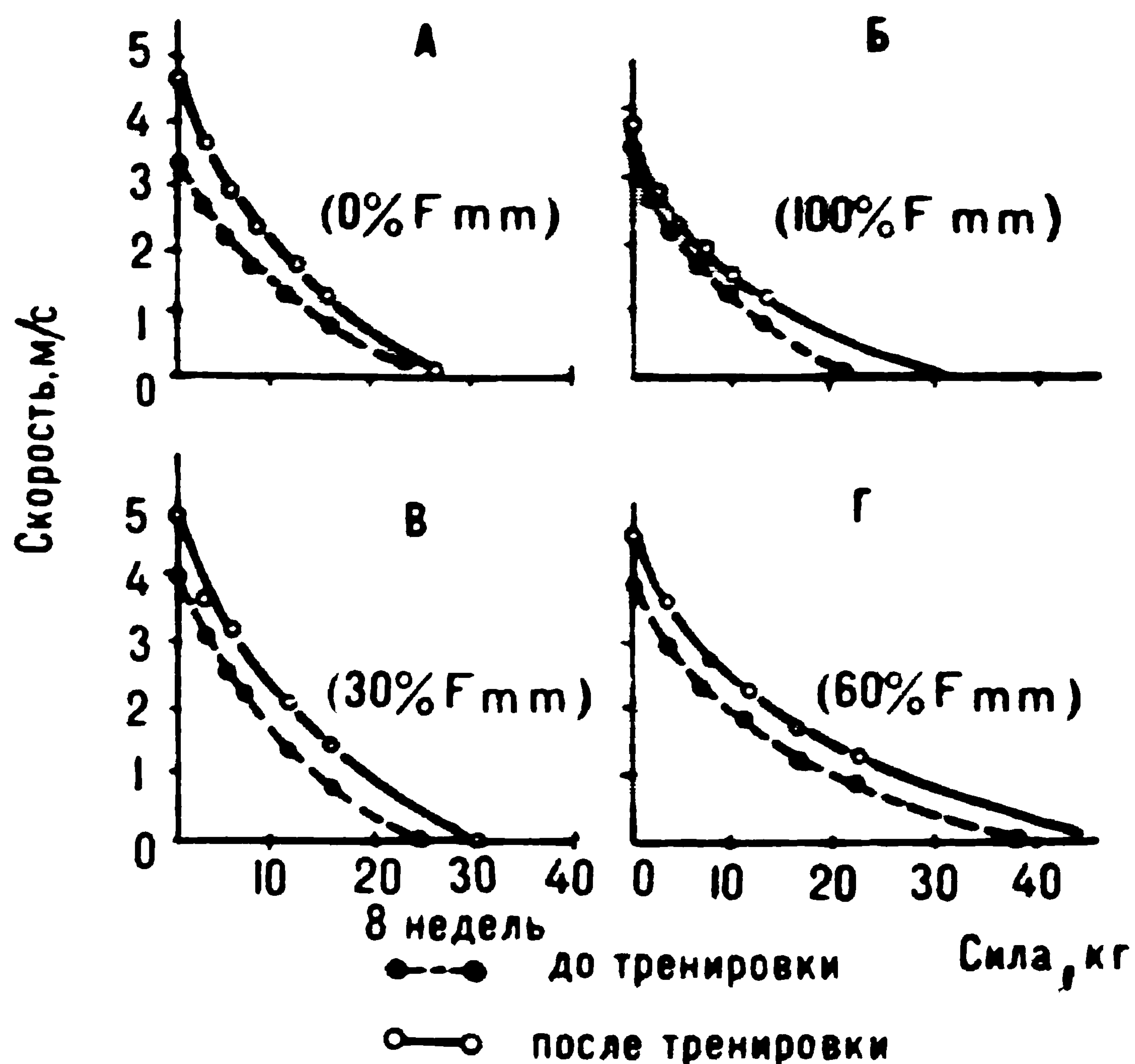


Рис. 52.

Изменение параметрических зависимостей «сила — скорость» в модельном движении (сгибание предплечья) под влиянием тренировки разной направленности (по Икаи)

А. Тренировка без использования отягощений (0%  $F_{mm}$ ) — максимальная изометрическая сила ( $F_{mm}$ ) не изменилась; возросла скорость движений ( $v_m$ ) с малыми отягощениями и скорость движений ненагруженной конечности ( $v_{mm}$ ).

Б. Изометрическая тренировка (100%  $F_{mm}$ ) — выросли  $F_{mm}$  и  $v_m$  при движении с большими отягощениями,  $v_{mm}$  не изменилась.

В и Г. Тренировка с весами 30%  $F_{mm}$  и 60%  $F_{mm}$  — изменились величины  $F_m$  и  $v_m$  во всем диапазоне отягощений (включая  $F_{mm}$  и  $v_{mm}$ ).

## 28.5. Биомеханические аспекты двигательных реакций

Различают простые и сложные двигательные реакции. Простая реакция — это ответ заранее известным движением на заранее известный (внезапно появляющийся) сигнал. Примером может быть скоростная стрельба из пистолета по силуэтам, старт в беге и т. п. Все остальные типы реакций — когда заранее не известно, что именно надо делать в ответ на сигнал и каким будет этот сигнал, — называются сложными. В двигательных реакциях различают:

а) сенсорную фазу — от момента появления сигнала до первых признаков мышечной активности (обычно они регистрируются по ЭМГ, т. е. по появлению электрической активности в соответствующих мышечных группах);

б) премоторную фазу (электромеханический интервал — ЭМИ) — от появления электрической активности мышц до начала движения. Этот компонент наиболее стабилен и составляет 25—60 мс;

в) моторную фазу — от начала движения до его завершения (например, до удара по мячу).



Сенсорный и преmotorный компоненты образуют латентное время реагирования.

С ростом спортивного мастерства длительность как сенсорного, так и моторного компонента в сложных реакциях сокращается. Однако в первую очередь сокращается сенсорная фаза (спортсмену нужно меньше времени для принятия решения), что позволяет более точно, спокойно и уверенно выполнить само движение. Вместе с тем, как бы она ни сокращалась, нужно иметь возможность наблюдать объект реакции (мяч, противника и т. п.) достаточное время. Когда движущийся объект попадает в поле зрения, глаза начинают двигаться, как бы сопровождая его. Это движение глаз происходит автоматически и не может быть произвольно заторможено или ускорено (правда, на спортсменах высокого класса такие исследования пока не проводились;

быть может, они и умеют это делать). Приблизительно через 120 мс после начала прослеживающего движения глаз происходит опережающий поворот головы примерно в то место пространства, куда передвигается объект и где он может быть «перехвачен». Поворот головы происходит также автоматически (даже у людей, плохо умеющих ловить мяч), но при желании может быть заторможено. Если поворот головы не успевает произойти и вообще если время наблюдения за движущимся объектом мало, успешность реакции уменьшается (рис. 53).

Большое значение в сложных реакциях приобретает умение предугадывать действия противника (например, направление и характер удара или броска мяча или шайбы). Подобное умение называют антиципацией, а соответствующие реакции — антиципирующими.

Что касается моторной фазы реакции, то продолжительность ее при разных вариантах технических действий различна. Например, для того чтобы поймать мяч, требуется больше времени, чем для того, чтобы его отбить. У вратарей-гандболистов скорости движений при защите раз-

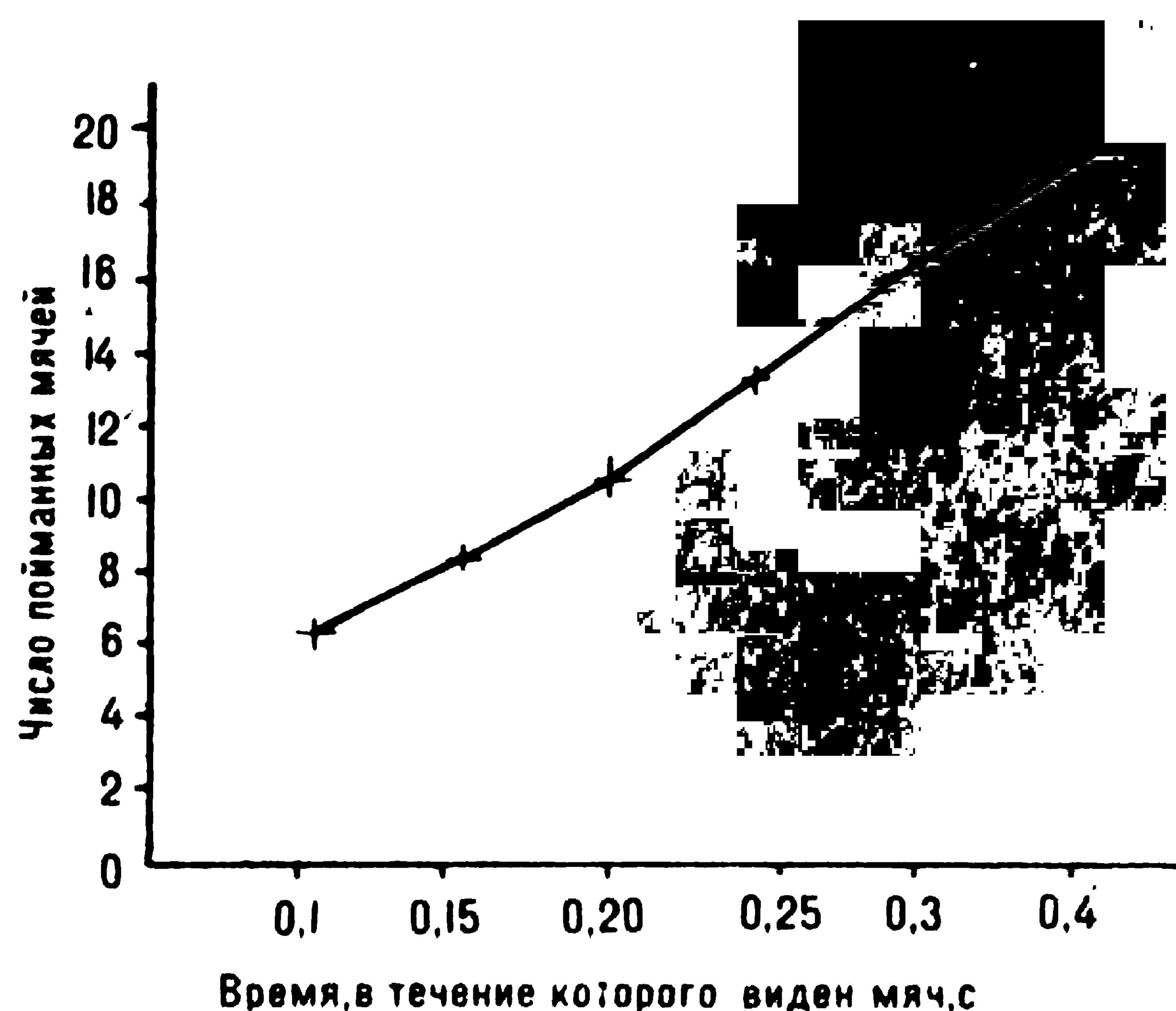


Рис. 53.

Число пойманных мячей (из 20) при разном времени возможного наблюдения за их полетом (по данным Х. Уайтинга)

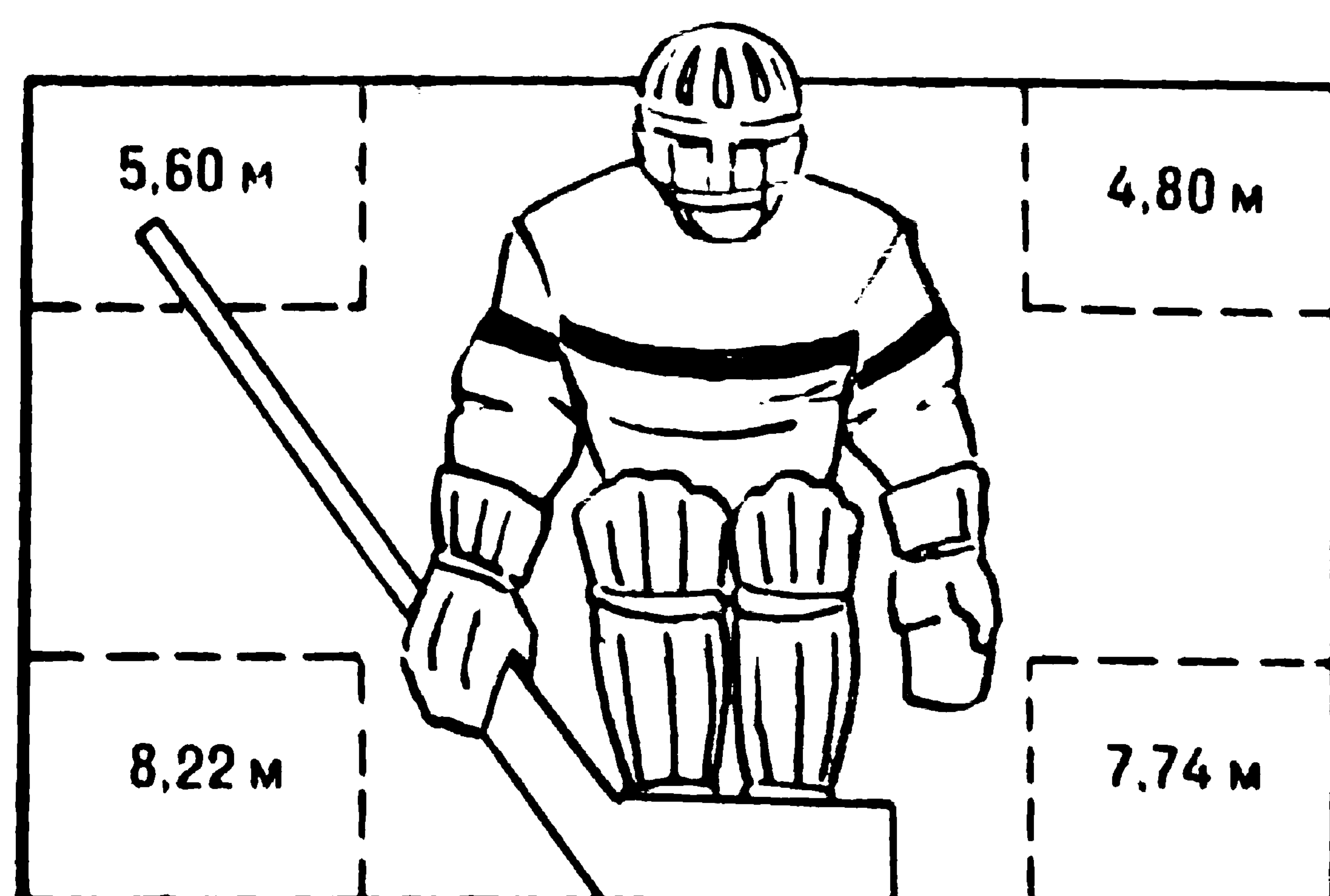


Рис. 54.

Поражаемые участки ворот в хоккее с шайбой и расстояния, с которых шайба не может быть отражена вратарем (по Горскому)



ных углов ворот различны; различны поэтому и расстояния, с которых они могут успешно отражать броски в разные секторы ворот (табл. 6, по А. Голуху, переработано). Расстояния, с которых мяч уже не может быть пойман или отражен без антиципации, иногда называют «мертвой зоной».

Аналогичные закономерности существуют и в других спортивных играх.

На рис. 54 показаны поражаемые участки ворот при игре в хоккей с шайбой, а также расстояния, при которых шайба, брошенная игроком высокого класса, уже не может быть отбита («мертвые зоны»). Эти расстояния различны для разных зон, что объясняется различиями в моторной фазе реакции.

Т а б л и ц а 6

Скорость защитных действий вратарей и расстояния успешного отражения бросков в разные углы ворот (без антиципации) при игре в ручной мяч (по данным игроков высшей лиги Польши)

Направление	Скорость движения вратаря, м/с	Расстояние, броски с которого вратари отражают без антиципации	
		броски с места, м	броски в движении, м
Правый верхний угол	1,56	11,3	13,7
Левый верхний угол	1,58	11,1	13,5
Правый нижний угол	2,34	10,4	12,4
Левый нижний угол	2,37	10,1	12,3
Максимальная скорость полета мяча		22,2 м/с	27,7 м/с

## § 29. Биомеханическая характеристика выносливости

### 29.1. Основы эргометрии

Эргометрией называется совокупность количественных методов измерения физической работоспособности человека.

Когда человек выполняет какое-либо достаточно длительное двигательное задание (например, бег или плавание на заданную дистанцию, подъем или удержание какого-либо груза либо собственного тела), мы всегда имеем дело с тремя основными переменными:

1. Интенсивность выполняемого двигательного задания. Словами «интенсивность двигательного задания» обозначается одна из трех механических величин: а) скорость спортсмена (например, в беге; единица измерения — м/с); б) мощность (например, при педалировании на велоэргометре; единица измерения — ватты); в) сила (например, при статическом удержании груза; единица измерения — ньютоны).

2. Объем выполненного двигательного задания. Этими словами обозначается одна из следующих трех механических величин: а) пройденное расстояние (например, в беге; единица измерения — метры); б) выполненная работа (в физическом смысле, например, при вращении педалей велоэргометра; единица измерения — джоули); в) импульс силы (при статическом усилии; единица измерения — ньютон-секунды).

3. Время выполнения (единица измерения — секунды).



Показатели интенсивности, объема и времени выполнения двигательного задания называются эргометрическими показателями. Один из них всегда задается как параметр двигательного задания; два других — измеряются. Например, при беге на 5000 м дистанция задается заранее, а время бега и средняя скорость измеряются; при часовом беге задается время, а измеряются дистанция и скорость; при беге с заданной скоростью «до отказа» измеряются дистанция и время, скорость же определяется заранее и т. д.

В табл. 7 сведены воедино разные варианты измерения физической работоспособности человека.

Т а б л и ц а   7

Основные варианты измерения физической работоспособности человека

Задается как параметр двигательного задания	Измеряется		Примеры двигательных заданий
<b>Интенсивность задания</b> а) скорость, м/с б) мощность, Вт в) сила, Н	Пройденная дистанция, м  Выполненная работа, Дж Импульс силы, Н·с	Время, с  Время, с Время, с	а) бег или плавание с заданной скоростью, например 6,0 м/с или 1,2 м/с б) вращение педалей велоэргометра с мощностью 150 Вт в) удержание груза 10 кг (~98Н) прямой рукой в горизонтальном положении
<b>Объем задания</b> а) дистанция, м б) работа, Дж  в) импульс силы, Н·с	Скорость, м/с  Средняя мощность, Вт  Средняя сила, Н	Время, с  Время, с  Время, с	а) бег на определенную дистанцию, например 5000 м б) выполнение на велоэргометре работы 30 000 Дж в наименьшее время в) проявление определенной величины импульса силы (например, в наименьшее время)
<b>Время, с</b> а  б  в	Пройденная дистанция, м Выполненная работа, Дж Импульс, Н·с	Средняя скорость, м/с Средняя мощность, Вт Средняя сила, Н	а) часовой бег или бег 12 мин  б) вращение педалей велоэргометра 12 мин в) удержание статического усилия на динамометре 12 мин

Если величины времени, интенсивности и объема двигательных заданий соответствуют друг другу, то, как экспериментально показано, при разных вариантах заданий получаются совпадающие результаты. Например, если спортсмены пробегают дистанцию 3 км за 12,0 мин (средняя скорость ~ 4,1 м/с), то при задании пробежать наибольшую дистанцию за 12 мин (так называемый тест Купера) они пробегут тоже 3 км, а если им предложить бежать с постоянной скоростью 4,1 м/с, то они будут в состоянии поддерживать ее в среднем лишь 12 мин (это для них предельная длительность данного двигательного задания —  $t_m$  ; см. 2б) и пробегут за это время те же 3 км. Таким образом, конкретный вариант задания (что именно — дистанция,



скорость или время — задается, а что измеряется) для эргометрических показателей не имеет значения. Поэтому результаты, полученные в заданиях одного типа (например, в беге с заданной скоростью), можно переносить на задания другого типа (например, бег на определенную дистанцию), если только задаваемые или регистрируемые значения времени, интенсивности и объема двигательных заданий совпадают. Это так называемое правило обратимости двигательных заданий.

Как уже говорилось, двигательные задания могут отличаться по задаваемым условиям (параметрам) выполнения. В видах спорта циклического характера параметром является длина дистанции (гораздо реже задается время работы — часовой бег, часовая езда на велосипеде и т. п.). В результате возникают три зависимости: дистанция — время, скорость — время и дистанция — скорость. Наиболее интересны две первые из них. Их можно проанализировать на примере мировых рекордов.

Во всех видах спорта циклического характера в широком диапазоне дистанций связь между длиной дистанции и рекордным временем ( $t_m$ ) прямолинейна (рис. 55). Как известно, уравнение прямой линии имеет вид:

$$D = a + b \cdot t_m \quad (1),$$

где  $D$  — дистанция (м),  $t_m$  — время,  $a$  и  $b$  — коэффициенты. На графике  $a$  равно величине отрезка, отсекаемого на оси ординат (т. е. величине дистанции при  $t_m = 0$ ), а  $b$  — тангенсу угла наклона «линии рекордов» к оси абсцисс.

В соответствии с законом сохранения энергии любая работа может быть выполнена лишь при обязательном условии затрат энергии (ведь вечный двигатель невозможен). Чем большую работу выполнил спортсмен (например, чем большую дистанцию он преодолел), тем больше энергии он затратил.

С точки зрения биомеханики (в частности, анализа затрат энергии) коэффициенты  $a$  и  $b$  в приведенном уравнении имеют четкий смысл:

$a$  — величина дистанции, пройденная за счет запасов энергии, не восстанавливаемых по ходу выполнения двигательного задания;

$b$  — максимальная скорость передвижения, которая может быть достигнута за счет энергии из источников, восстанавливаемых по ходу выполнения задания.

Из курсов биохимии и физиологии известно, что в организме человека есть два источника энергопродукции: анаэробный и аэробный. Наибольшая величина энергии, освобождаемой при мышечной работе, определяется величинами:

- а) максимального кислородного долга,
- б) кислородной емкости, т. е. произведения времени работы ( $t_m$ ) на скорость потребления кислорода (л/мин).

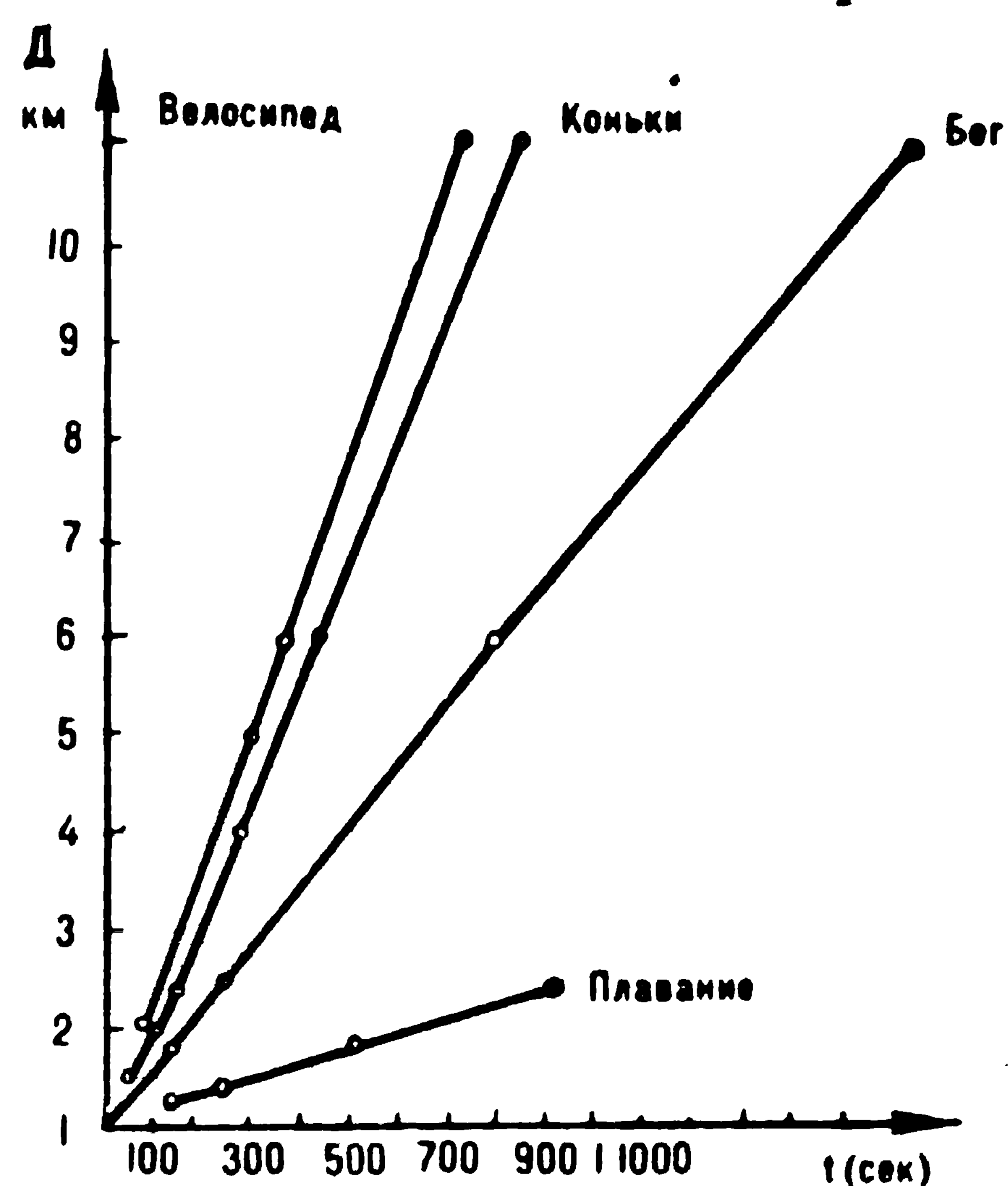


Рис. 55.

Параметрическая связь «дистанция — время» по данным мировых рекордов в циклических видах спорта.

По абсциссе — время ( $t_m$ , мировые рекорды), по ординате — дистанция ( $D$ )



Поскольку величины кислородного долга и текущего потребления кислорода характеризуют величину освобожденной энергии, можно записать:

$$E = a_1 + b_1 \cdot t_m \quad (2),$$

где  $E$  — суммарная величина энергии,  $t_m$  — предельная продолжительность работы,  $a_1$  — анаэробная энергопродукция (калории или джоули),  $b_1$  — скорость аэробной энергопродукции (кал/мин или ватты).

Видно, что уравнение (2) совпадает с уравнением (1). На основе этого принято считать, что коэффициент  $a$  в уравнении (1) отражает «дистанцию анаэробных резервов», а коэффициент  $b$  — скорость, при которой имеет место максимальное потребление кислорода (критическую скорость).

Значения дистанции анаэробных резервов и критической скорости в некоторых видах спорта циклического характера приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Дистанция анаэробных резервов и критическая скорость в видах спорта циклического характера (по данным мировых рекордов; рассчитано по уравнению  $D = a + b \cdot t_m$ )

Вид спорта	$a$ , м	$b$ , м/с
Плавание	40	1,60
Бег	240	5,92
Конькобежный	199	11,2
Велосипедный	206	13,5

Работа со скоростью ниже критической может продолжаться очень долго — часами. Превышение же этой скорости быстро приводит к снижению работоспособности.

Поскольку средняя скорость на определенной дистанции равна частному от деления длины дистанции ( $D$ ) на время ( $t_m$ ), можно на основе уравнения (1) записать:

$$v = D/t_m = a/t_m + b \quad (3).$$

Из уравнения (3) видно, что увеличение  $t_m$  приводит к снижению  $v$  (и наоборот, вспомните правило обратимости двигательных заданий). Анализ параметрической зависимости «скорость — время» подтверждает это (рис. 56).

Проведенный выше анализ и уравнения (1), (2) и (3) справедливы лишь в принципе, в своих основных чертах. В действительности эти зависимости усложняются рядом дополнительных факторов (например, возможностью локального утомления отдельных мышечных групп, замедленностью развертывания аэробных процессов в начале мышечной работы, неодинаковой экономичностью мышечной работы разной продолжительности).

## 29.2. Утомление и его биомеханические проявления

Утомлением называется вызванное работой временное снижение работоспособности.

Существуют, как известно, несколько основных типов утомления: умственное, сенсорное, эмоциональное, физическое (вызванное мышечной деятельностью). В биомеханике рассматривается только физическое утомление.

Утомление при мышечной работе проходит через две фазы:

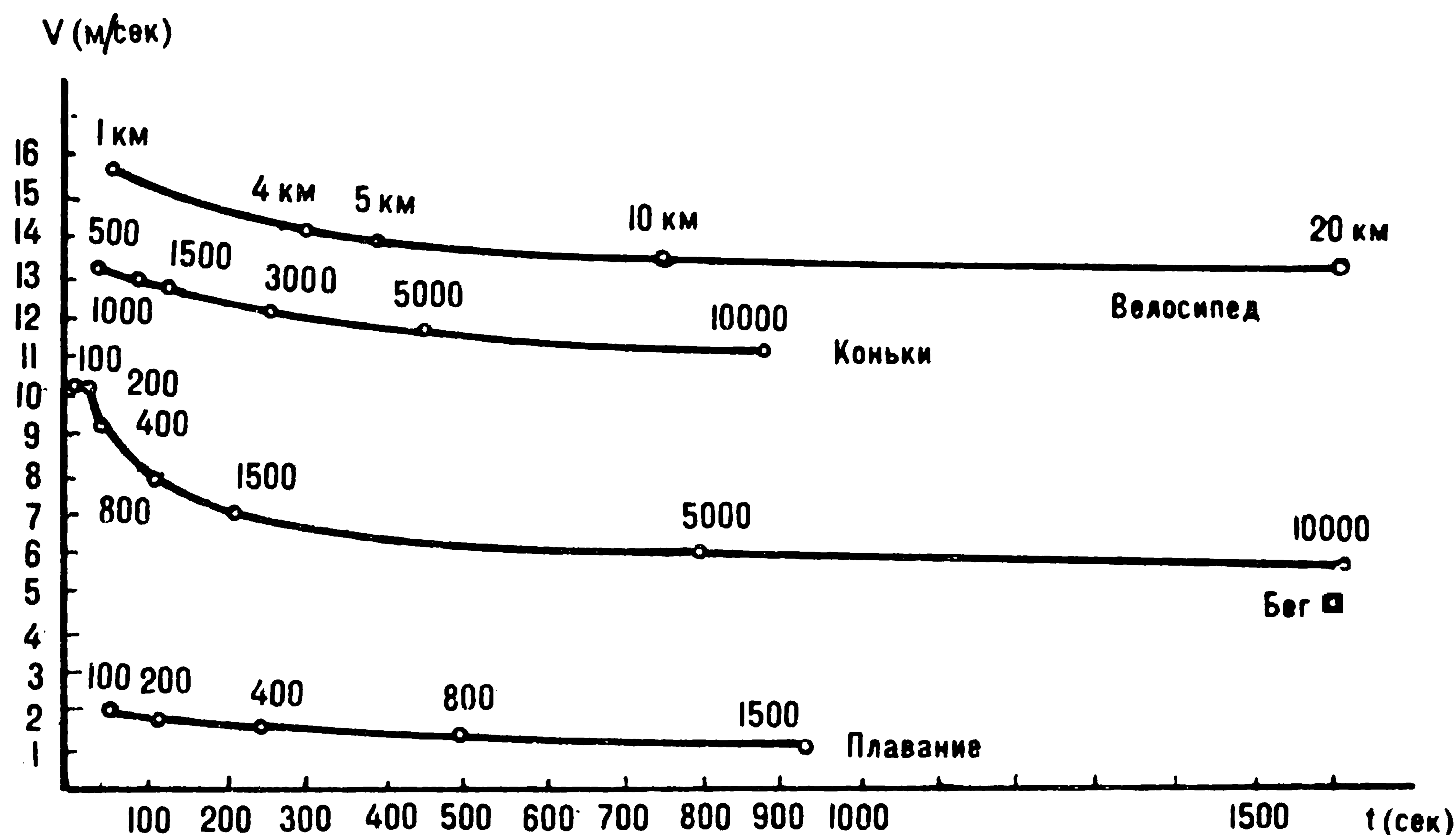
1) фазу компенсированного утомления — в ней, несмотря на возрастание затруднения, спортсмен сохраняет интенсивность выполнения



двигательного задания (например, скорость плавания) на прежнем уровне;

2) фазу декомпенсированного утомления — в ней спортсмен, несмотря на все старания, не может сохранить необходимую интенсивность выполнения задания.

Утомление проявляется в специфических субъективных ощущениях, объективных физиологических и биохимических сдвигах (например, в уменьшении систолического выброса, сдвиге рН крови в кислую сторону). Проявляется оно очень заметно и в биомеханических (двигательных) показателях.



**Рис. 56.**

Параметрическая зависимость между скоростью и временем передвижения в циклических видах спорта — связь «скорость — время» (по данным мировых рекордов).

По абсциссе — время (с). По ординате — скорость (м/с). Видно, что в каждом виде спорта есть скорость (в беге, например, около 5,80 м/с), которая может поддерживаться длительное время

В фазе компенсированного утомления скорость передвижения (или другой показатель интенсивности двигательного задания) не снижается, но происходят изменения в технике движений. Снижение одних показателей компенсируется ростом других. Наиболее часто уменьшается длина «шагов», что компенсируется возросшей их частотой. Особенно четко эта закономерность проявляется при задании удерживать как можно дольше постоянную скорость передвижения (например, при плавании за механическим лидером или светолидером).

Под влиянием утомления снижаются скоростно-силовые показатели утомленных мышц. Такое снижение может до известной степени компенсироваться сознательным или бессознательным изменением техники движения.

Наблюдаемые в состоянии утомления изменения в технике движений имеют двойную природу: изменения, вызванные утомлением, и приспособительные реакции, которые должны компенсировать эти изменения, а также снижение функциональных (в частности, скоростно-силовых) возможностей спортсмена.

В результате далеко не всегда ясно, полезным или вредным



является то или иное изменение в технике движений при утомлении (например, меньшее сгибание ноги в коленном суставе при беге: надо ли с ним бороться или именно такой вариант исполнения в утомленном состоянии лучше других?). Это решается в каждом конкретном случае на основе практического опыта и специальных биомеханических исследований.

Повышение устойчивости спортивной техники по отношению к утомлению — одна из важных задач во многих видах спорта. Это достигается длительной специальной тренировкой (в том числе и в состоянии утомления). Например, у сильнейших велосипедистов-шоссейников техника в состоянии утомления практически не меняется. Подсчитано, что они делают в год около 5 миллионов оборотов педалей. (Для сравнения: за все время обучения в школе ученик пишет лишь около 1 миллиона букв).

### 29.3. Выносливость и способы ее измерения

Если предложить одно и то же двигательное задание разным людям, признаки утомления у них появятся через разное время. Причиной этого является, очевидно, разный уровень выносливости у этих людей. Выносливостью называется способность противостоять утомлению. При прочих равных условиях у более выносливых людей наступает позже как первая, так и вторая фаза утомления. Основным мерилom выносливости считают время, в течение которого человек способен поддерживать заданную интенсивность двигательного задания (В. С. Фарфель, 1937). Согласно правилу обратимости двигательных заданий, для измерения выносливости можно использовать и другие эргометрические показатели (в соответствии с табл. 7).

Однако в этой таблице не указано точно, как определяется интенсивность двигательных заданий: одинаково для всех занимающихся или в зависимости от их индивидуальных возможностей.

Рассмотрим пример: спортсмены лежа выжимают «до отказа» штангу 50 кг. Если не учитывать уровень их максимальной ( $F_{mm}$ ) силы, то более выносливыми следует считать тех, кто смог поднять штангу большее число раз. Если же учесть, что максимальная сила у одних спортсменов невелика (скажем, 55 кг), а у других намного больше, то ясно, что на полученный результат повлияет не только разный уровень выносливости испытуемых, но и разные силовые возможности. Устранить их влияние можно было бы, например, так: предложить всем выжимать штангу, вес которой равен определенному проценту от их максимальной силы (скажем, 50% от  $F_{mm}$ ). В первом случае интенсивность задания уравнивалась в абсолютных единицах (килограммах), во втором — в относительных (в % от  $F_{mm}$ ).

Рассмотрим другой пример: два спортсмена (условно А и Б) бегут 800 м. Результат А — 2 мин 10 с, Б — 2 мин 12 с. Очевидно, А более вынослив, чем Б. Однако допустим, что А пробегает 100 м за 10,5 с, а Б — лишь за 15,0 с. Если учитывать уровень скорости, которым владеют спортсмены, результат А на 800 м является слабым; время Б, наоборот, надо расценивать как очень хорошее. Таким образом, если не учитывать уровень максимальной скорости спо-



ртсменов, то А выносливее, чем Б; если же учесть их скоростные возможности, соотношение меняется: Б будет выносливее, чем А.

В этих примерах видна причина, обуславливающая два типа показателей выносливости — явные и латентные. Явные (используется также термин «абсолютные») — без учета развития силовых или скоростных качеств; латентные (говорят еще — относительные) — с учетом развития названных качеств, когда их влияние каким-либо образом исключается<sup>1</sup>.

Хотя латентных показателей выносливости существует довольно много, в их основе всегда лежит сравнение эргометрических показателей в данном двигательном задании с достижением в других заданиях.

Примерами латентных показателей выносливости могут быть:

1. Коэффициент выносливости — отношение времени преодоления всей дистанции ко времени преодоления какого-либо короткого отрезка (100 м в беге, 50 м в плавании и т. п.):  $KВ = t_d : t_{kr}$ , где  $t_d$  — время на дистанции (например, 400 м за 48,0 с),  $t_{kr}$  — лучшее время на коротком («эталонном») отрезке (100 м — 11,0 с).  $KВ = 48,0 : 11,0 = 4,3636$ .

2. Запас скорости (по Н. Г. Озолину) — разность между средним временем преодоления эталонного отрезка при прохождении всей дистанции и лучшим временем на этом отрезке.

Запас скорости ( $ЗС$ )  $= t_d : n - t_{kr}$ , где  $n$  — число, показывающее, во сколько раз эталонный отрезок меньше всей дистанции (400 м : 100 м = 4). Запас скорости  $= 48,0 : 4 - 11,0 = 1$  с.

Чем меньше запас скорости, тем выше выносливость. С ростом спортивной квалификации запас скорости, как правило, уменьшается. Например, у сильнейших бегунов мира на 400 м он равен 0,9—1,0 с, у начинающих — 2—2,5 с. С увеличением дистанции запас скорости также увеличивается (рис. 57).

Тренеры в видах спорта циклического характера должны знать, чему равны показатели запаса скорости (или другие латентные показатели выносливости) на разных дистанциях у спортсменов разной квалификации, это поможет определять слабые стороны в подготовке своих учеников, видеть, что именно отстаёт — скорость или выносливость.

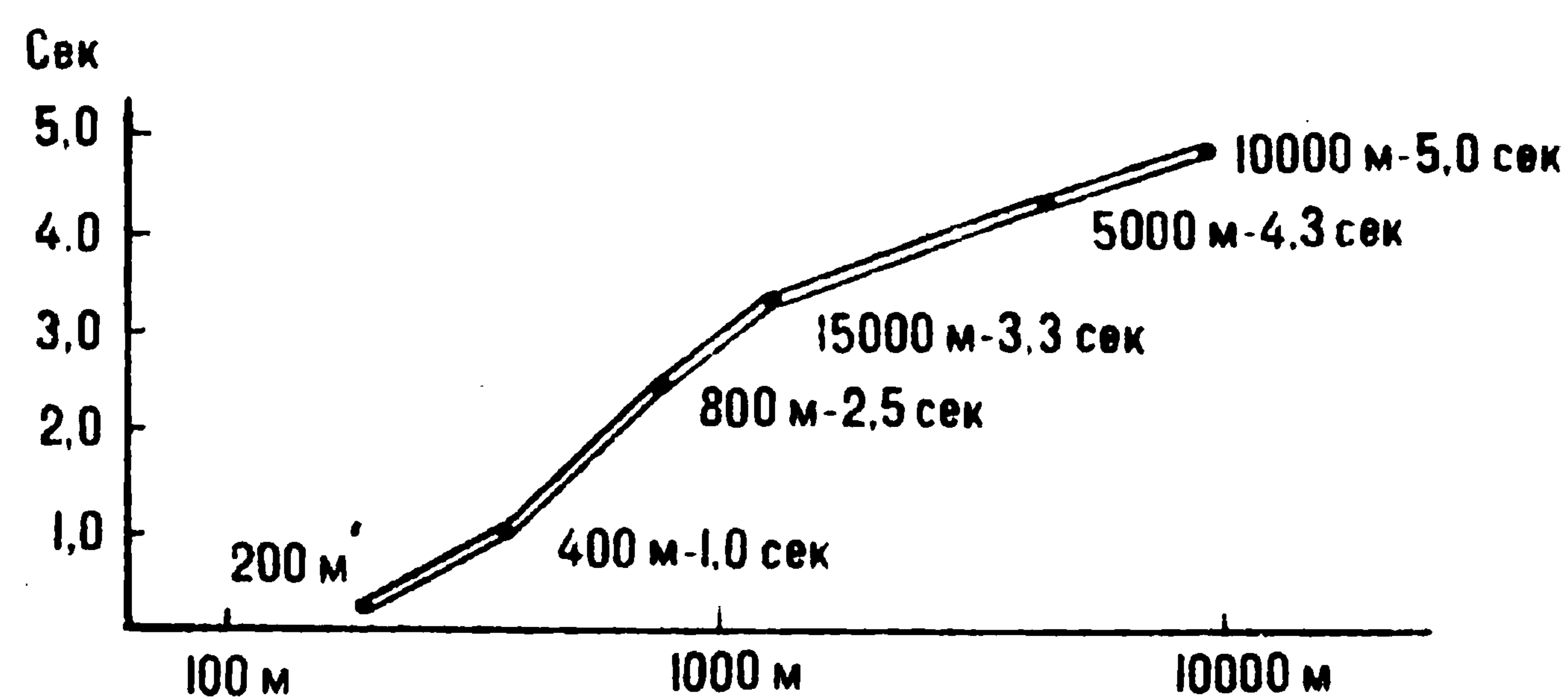


Рис. 57.

Величина запаса скорости при беге на разные дистанции

#### 29.4. Проблема экономизации спортивной техники

Если у разных спортсменов при выполнении одного и того же двигательного задания измерить энергозапрос, то его величины могут оказаться резко различными: одна и та же работа будет для разных

<sup>1</sup> Происхождение в данном случае терминов «абсолютные» и «относительные» ясно из приведенного выше примера с жимом штанги. Если вес штанги уравнивают в абсолютных единицах (килограммах), получают абсолютные показатели выносливости; если в относительных (процентах от  $F_{mm}$ ) — относительные.



спортсменов связана с неодинаковым расходом энергии. Так, например, при плавании с одинаковой скоростью на дистанции 150 м (время плавания — 146 с) величина кислородного запроса у пловцов-третьеразрядников составляла в среднем 5486 мл/мин, а у мастеров спорта лишь 2726 мл/мин, т. е. в 2 раза (!) меньше (Фам Чонг Тхань). При плавании с той же скоростью третьеразрядники затрачивают в 2 раза больше энергии, чем мастера.

Экономичность работы нередко оценивают с помощью коэффициентов, связывающих величины выполненной работы с величинами затраченной при этом энергии. Наиболее часто применяют три таких коэффициента.

1. Валовый коэффициент (брутто-коэффициент) экономичности работы:

$$K_1 = \frac{A}{E},$$

где  $A$  — выполненная механическая работа (в джоулях),  $E$  — затраченная энергия (в джоулях).

2. Нетто-коэффициент; в данном случае из величины энерготрат при выполнении работы вычитают величину энерготрат в состоянии покоя (в условиях основного обмена или в рабочей позе):

$$K_2 = \frac{A}{E - E_n},$$

где  $E_n$  — энергия, затрачиваемая организмом в состоянии покоя.

3. Дельта ( $\Delta$ ) — коэффициент; здесь сравнивают величины выполненной работы и энерготрат в двух двигательных заданиях разной интенсивности:

$$K_3 = \frac{A_2 - A_1}{E_2 - E_1},$$

где  $A_1$  и  $A_2$  — величины работы (в джоулях),  $E_1$  и  $E_2$  — энерготраты (в джоулях). Например, определяются энерготраты при педалировании на велоэргометре с мощностью 50 и 250 Вт в течение 100 с. Выполненная работа равна 5 тыс. джоулей ( $A_1$ ) и 25 тыс. джоулей ( $A_2$ ).

Все эти коэффициенты введены по аналогии с известным по школьному курсу физики коэффициентом полезного действия (к.п.д.), а  $K_1$  формально равен ему. Однако отношение к введенным коэффициентам  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ , их использование и трактовка отличаются от того, что имеет место в физике и в технике. Причины этого четко объяснены Ф. Энгельсом: «...тело не просто паровая машина, испытывающая трение и изнашивание. Физиологическая работа возможна только при наличии непрерывных химических превращений в самом теле, и она зависит также от процесса дыхания и от работы сердца. При каждом сокращении и расслаблении мускула в нервах и мускулах происходят химические превращения, которые нельзя ставить в параллель с превращением угля в паровой машине. Конечно, можно сравнивать между собою две физические работы, происходящие при прочих равных условиях, но нельзя измерять физиологическую работу человека по работе какой-нибудь паровой машины и т. д.; можно



сравнивать их внешние результаты, но не самые процессы, если не сделать при этом серьезных оговорок»<sup>1</sup>. Кроме того, необходимо добавить, что определить величины механической работы, совершаемой человеком, в большинстве случаев довольно трудно.

Таким образом, использование указанных коэффициентов, во-первых, позволяет анализировать лишь внешние результаты двигательных заданий (но не процессы, лежащие в их основе); во-вторых, приемлемо лишь при анализе двигательных заданий сходного типа. Можно, например, сравнивать величины этих коэффициентов в одном и том же движении (например, в беге), и нельзя — в движениях далеких друг от друга (например, в плавании и прыжках в воду).

В циклических локомоциях для характеристики экономичности техники обычно используют не указанные выше коэффициенты, а так называемую константу пути — величину энерготрат, приходящуюся на 1 метр пути.

При сравнении разных локомоций значения константы пути и коэффициентов экономичности работы могут не совпадать, поскольку в разных локомоциях для того, чтобы преодолеть одно и то же расстояние, надо выполнить разную механическую работу. Например, при ходьбе по сравнению с ездой на велосипеде коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  больше (т. е. работа экономичнее), но в то же время и сама механическая работа больше (главным образом из-за подъема общего центра тяжести в каждом шаге). При езде на велосипеде  $K_1$  и  $K_2$  меньше, но меньше и механическая работа. В результате затраты энергии на метр пути (константа пути) при езде на велосипеде гораздо меньше, чем при ходьбе.

Экономичность техники зависит от двух групп факторов: 1) физиологических и биохимических (в частности от того, аэробными или анаэробными процессами обеспечивается поставка энергии) и 2) биомеханических.

## 29.5. Биомеханические основы экономизации спортивной техники. Особенности спортивной техники в упражнениях, требующих большой выносливости

С биомеханической точки зрения есть два различных пути повышения экономичности движений:

1) снижение величин энерготрат в каждом цикле (например, в каждом шаге);

2) рекуперация энергии, т. е. преобразование кинетической энергии в потенциальную и ее обратный переход в кинетическую.

Что касается первого пути, то он реализуется несколькими основными способами:

а) устранением ненужных движений (например, в вертикальном направлении; ведь каждая работа по подъему тела требует затрат энергии и оправдана лишь постольку, поскольку она абсолютно необходима для продвижения вперед);

---

<sup>1</sup> Ф. Энгельс. Диалектика природы, стр. 252.



б) устранением ненужных сокращений мышц. У квалифицированных спортсменов суммарное время активности мышц меньше, время расслабленного состояния больше, чем у новичков. Это достигается за счет так называемой концентрации активности мышц. Внешне это выражается в легкости и свободе движений;

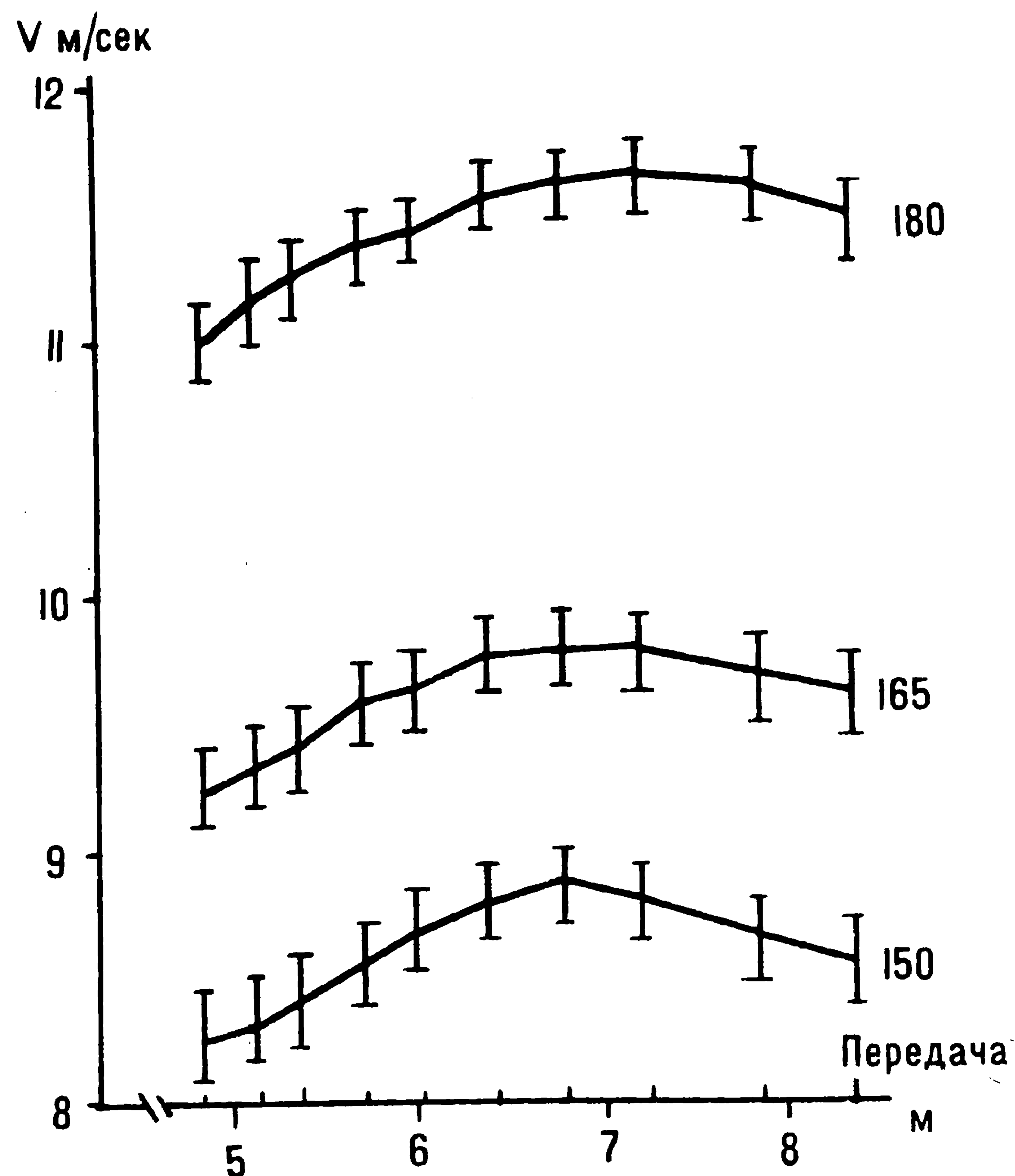
в) уменьшением внешнего сопротивления (например, уменьшением сопротивления воды в плавании за счет выбора более обтекаемого положения тела);

г) уменьшением внутрицикловых колебаний скорости. Повышение скорости (после ее падения) требует затрат энергии. По возможности такие колебания надо уменьшать, хотя в некоторых видах спорта (плавание брассом, академическая гребля) они поневоле остаются значительными;

д) выбором оптимального соотношения между силой действия и скоростью рабочих движений. В некоторых видах спорта (велосипедном, гребле) можно сохранить одну и ту же скорость передвижения при разном соотношении силы действия и скорости отдельных движений (например, в гребле за счет изменения площади лопасти весла). Аналогично в лабораторных условиях можно поддерживать ту же мощность на велоэргометре при разном соотношении силы действия и скорости педалирования. Для каждой заданной скорости передвижения или мощности существует свое оптимальное соотношение между силой действия и скоростью рабочих движений. Наиболее просто вопрос сохранения его решается в велосипедном спорте, где

величина сопротивления задается сменой передачи (можно сделать так, что за один рабочий цикл велосипед будет проезжать разные расстояния). На разных передачах велосипедист будет ехать при одной и той же величине энерготрат с разной скоростью (рис. 58);

е) выбором оптимального соотношения между длиной и частотой шагов. На рис. 59 показано, как изменяется расход энергии при ходьбе с одной и той же скоростью, но при разном соотношении длины и частоты шагов. На абсциссе этого графика — число шагов в минуту, на ординате — длина шага в сантиметрах. Пунктирные дугообразные линии, идущие из верхнего левого угла в правый нижний угол, соответствуют определенным скоростям, значения которых нанесены сверху. Остальные линии соединяют точки одинаковой затраты энергии. На линии, обозначенной цифрой 40 и пере-



**Рис. 58.**

Скорость передвижения велосипедистов на разных передачах при одной и той же ЧСС (программировалась кардиолидерами), средние величины и стандартные отклонения (Ю. Г. Крылатых).

По абсциссе — передача (расстояние, которое проезжает велосипед за один оборот шатуна с педалями, м). По ординате — скорость, м/с



секающей абсциссу при числе шагов 70 и 120 в минуту, лежат все комбинации длины и частоты шага, при которых затраты энергии на 1 м пути (константа пути) составляют 40 калорий. Крестиком обозначена точка наименьшей траты энергии — 35 калорий на 1 м пути. Номограмма дает для каждой скорости оптимальную (с точки зрения затрат энергии) комбинацию длины и частоты шагов. Этот оптимум обозначен толстой линией, идущей из левого нижнего угла в правый верхний угол. Если длина и частота шагов соответствуют этой линии, затраты энергии на 1 м пути минимальны (для данной скорости передвижения).

Подобного рода зависимости существуют и в других циклических локомоциях. Интересно, что в ходьбе оптимальная (по затратам энергии) длина и частота шагов подбирается человеком без специального обучения. В других циклических локомоциях нередко можно наблюдать довольно значительные отклонения от наиболее выгодного соотношения этих характеристик. Подобные отклонения должны устраняться тренером.

Рекуперация энергии в движениях человека осуществляется двумя способами.

Во-первых, кинетическая энергия движения может переходить в потенциальную энергию гравитации (сил тяжести). Например, в обычной ходьбе наивысшему положению ЦМ тела (максимуму потенциальной энергии) соответствует минимум кинетической энергии, и наоборот, кинетическая энергия тела самая большая, когда его ОЦМ находится в самом низком положении (С. Ю. Алешинский, В. В. Тюпа). Образно можно себе представить, что ОЦМ движется как шарик, катящийся по неровной поверхности: на подъемах кинетическая энергия переходит в потенциальную, а на спусках — наоборот. Благодаря этому полная механическая энергия тела (т. е. сумма его кинетической и потенциальной энергии) сохраняется. Разумеется, это сохранение не стопроцентное — значительная часть энергии рассеивается. Но все же благодаря описанному явлению экономичность ходьбы значительно повышается.

Во-вторых, кинетическая энергия движения превращается в потенциальную энергию упругой деформации мышц, а накопленная потенциальная энергия частично снова превращается в работу — идет на сообщение скорости телу и его подъем. В модельных опытах (прыжки на месте) показано (А. С. Аруин), что рациональное использование упругих сил мышц может повысить экономичность работы более чем в 2 раза.

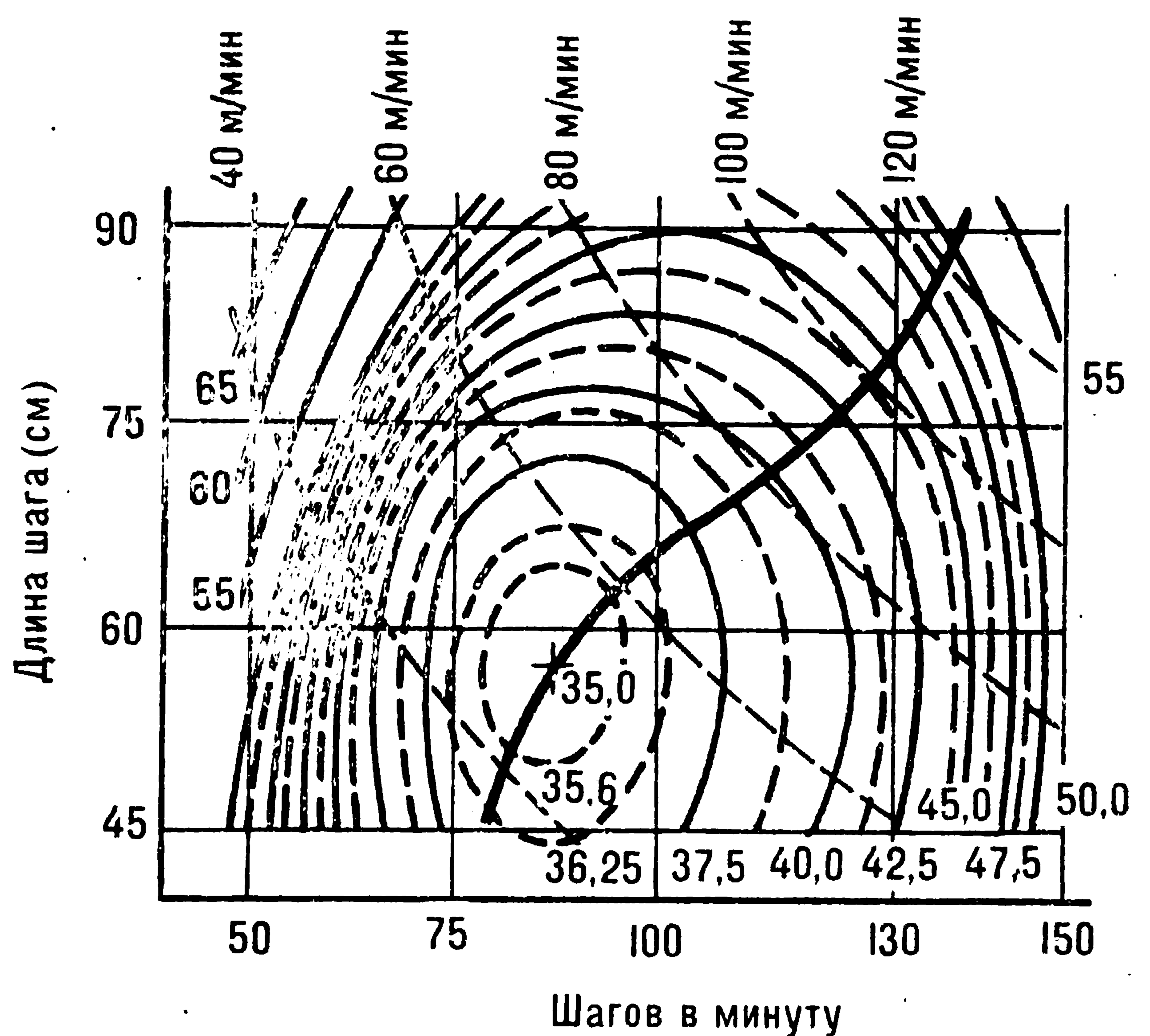


Рис. 59.

Расход энергии при ходьбе с разным соотношением длины и частоты шагов (Атцлер и Хербст).



Повышение экономичности спортивной техники — основное направление ее совершенствования в видах спорта, требующих большой выносливости. Определенное значение имеют и другие факторы, в частности предупреждение локального утомления отдельных мышечных групп, что может наблюдаться, если нагрузка на какую-либо мышечную группу становится особенно велика.

### § 30. Биомеханическая характеристика гибкости

Гибкостью называется способность выполнять движения с большой амплитудой. Слово «гибкость» используется обычно как более общий термин. Применительно к отдельным суставам говорят о подвижности в них. Для точного измерения гибкости (подвижности в суставах) надо измерить угол в соответствующем сочленении в крайнем возможном положении между сочленяющимися звеньями. Измерение углов движений в суставах, как известно, называется гониометрией (от греч. «гони» — угол и «метр» — мера). Поэтому говорят, что для измерения гибкости используются гониометрические показатели (рис. 60, А). Наиболее детальный способ измерения гибкости — так называемый глобографический (рис. 60, Б). При этом поверхность, очерчиваемая в пространстве дистальной точкой движущейся кости, рассматривается как «глобус», на котором определяют предельные значения «меридианов» и «параллелей». В спортивной практике для измерения гибкости нередко используют не угловые, а линейные меры (рис. 60, В). В этом случае на результате измерения могут сказаться размеры тела, например длина рук (при наклоне вперед или выполнении выкрута с палкой), длина туловища (при измерении расстояния между руками и ногами во время выполнения гимнастического моста). Поэтому линейные меры менее точны, и, применяя их, следует вводить поправки, устраняющие нежелательное влияние размеров тела.

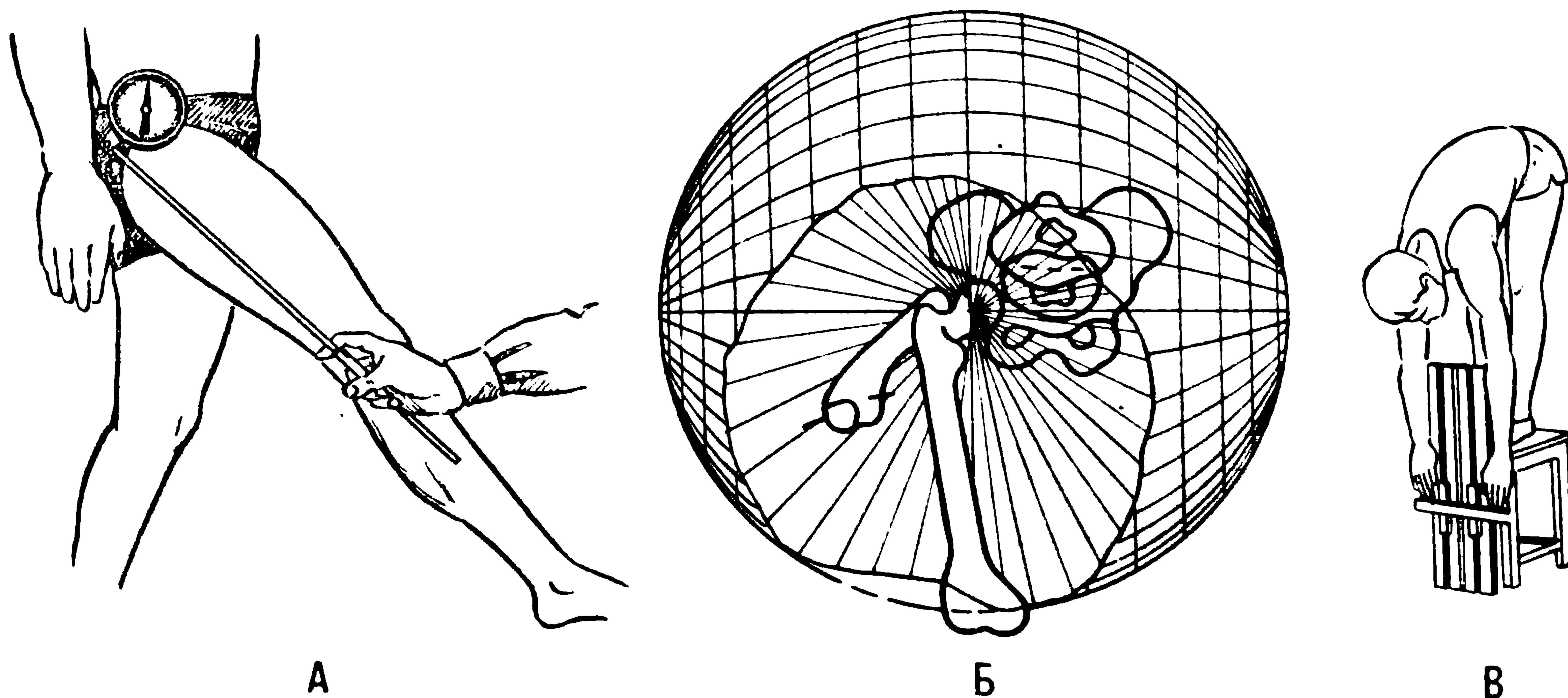


Рис. 60.

Способы измерения гибкости:

А — гониометрический (по В. А. Гамбурцеву),

Б — глобографический (по Уильямсу и Лисснеру),

В — в линейных мерах (по Н. Г. Озолину)



Выделяют активную и пассивную гибкость. **Активная гибкость** — способность выполнять движения в каком-либо суставе с большой амплитудой за счет активности мышечных групп, проходящих через этот сустав (пример: амплитуда подъема ноги в равновесии «ласточка»). **Пассивная гибкость** определяется наивысшей амплитудой, которую можно достичь за счет внешних сил. Показатели пассивной гибкости больше соответствующих показателей активной гибкости. Разница между ними называется дефицитом активной гибкости. Он определяется зависимостью «длина — сила тяги» активной мышцы (см. гл. III), в частности величиной силы тяги, которую может проявить мышца при своем наибольшем укорочении. Если эта сила недостаточна для дальнейшего перемещения сочленяющихся звеньев тела, то говорят об активной недостаточности мышцы. Экспериментально показано, что активная недостаточность может быть уменьшена (соответственно уменьшен дефицит активной гибкости и повышена сама активная гибкость) за счет силовых упражнений, выполняемых с большой амплитудой движения. Рост силовых качеств приводит в этом случае к увеличению показателей активной гибкости.

Гибкость зависит от ряда условий: температуры окружающей среды (повышение температуры приводит к повышению гибкости), времени суток (в середине дня она выше), разминки и др.

В спорте не следует добиваться предельного развития гибкости. Ее надо развивать лишь до такой степени, которая обеспечивает беспрепятственное выполнение необходимых движений. При этом величина гибкости должна несколько превосходить ту максимальную амплитуду, с которой выполняется движение («запас гибкости»). Например, высококвалифицированные прыгуны на лыжах с трамплина используют в полете запас активного разгибания (тыльного сгибания) стопы в среднем на 93,5%. Нередко у спортсменов наблюдается прямая корреляция между показателями гибкости и амплитудой движений в основных упражнениях. Например, показатели активной гибкости при разгибании стопы следующим образом связаны с амплитудой соответствующих движений (по Ф. Л. Доленко):

В прыжках на лыжах	0,93 (мастера)
При рывке штанги (в «низкий сед»)	0,94 (разная квалификация)
В беге на коньках	0,85 (мастера)
	0,36 (новички)

Высокая корреляция говорит о том, что спортсмены с большими показателями гибкости имеют преимущество в спортивной технике: они выполняют основное спортивное движение с большей амплитудой.

## Глава VI

### СИСТЕМЫ ДВИЖЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Спортивная деятельность проявляется в действиях спортсмена в условиях тренировки и соревнований. Действия спортсмена — его спортивная техника — выполняются посредством множества движений.



Движения в спортивной технике имеют конечной целью высокий спортивный результат. Они целенаправленны, т. е. служат достижению цели и поэтому целесообразны, т. е. соответствуют цели. Множество частных движений, обеспечивающих совместно высокий результат, объединено в целостные действия — системы движений. Они управляются спортсменом в соответствии с самой целью, реальными условиями действия и своими возможностями.

### ДВИГАТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАК СИСТЕМА ДВИЖЕНИЙ

При изучении спортивной техники<sup>1</sup> исследуют вещественные системы (опорно-двигательного аппарата, см. гл. III) и системы процессов выполнения действия (с учетом энергетического обеспечения движений и управления этими процессами).

### § 31. Состав системы движений

*Состав системы движений — это ее элементы, те движения, из которых она состоит.*

Существуют виды спортивной техники со строго постоянным составом: например, гимнастические упражнения (их состав задан требованиями соревнований); легкоатлетические упражнения (состав отобран как наиболее рациональный). Однако в видах спорта, где имеется противоборство спортсменов (спортивные игры и единоборства), состав технических действий изменчив и включает обычно наиболее совершенные элементарные действия (метания, удары, броски, передвижения и т. п.) в возможно лучшем сочетании.

Поскольку двигательные действия совершаются посредством движений частей тела и всего тела в пространстве и во времени, в системе движений различают ее элементы, выделенные либо по пространственному признаку, либо по временному.

#### 31.1. Пространственные элементы и их подсистемы

Пространственные элементы выделяют в системе движений по изменению взаимных положений звеньев тела в разных суставах (элементарные действия).

*Элементарное действие — это наименьший элемент системы движений (пространственный), имеющий относительно самостоятельное значение, известный смысл и осуществляющий определенное задание.*

Простые суставные движения объединены в элементарные действия (в группы одновременных движений и в ряды последовательных). Разные элементарные действия могут совпадать во времени. Как элементы всей системы они представляют собой подсистемы, части всей системы.

<sup>1</sup> Спортивная техника может рассматриваться как: а) выполнение двигательного действия (системы движений); б) владение техникой, подготовленность (см. «Двигательная программа», гл. VI, 4, 1), сведения о технике, ее модель (см. «Двигательная задача», гл. VI, 4, 1).



Из элементарных действий (более мелких подсистем) состоят более крупные подсистемы, например подготовительные и основные действия. Так, одно из основных действий в лыжном ходе — отталкивание лыжей включает элементарные действия: отталкивание ногой, махи рукой и ногой, а также бросок тела вперед и вверх.

### 31.2. Временные элементы и их подсистемы

Временные элементы в системе движений выделяют между определенными моментами времени (фазы).

*Фаза — это наименьший элемент системы движений (временной), включающий все движения от начала до конца и осуществляющий определенное задание.*

Определяют, когда начинается фаза, как долго она длится, когда заканчивается. Фазы следуют во времени одна за другой. Изучая ряд движений, выделяют во времени фазы, отличающиеся одна от другой по характеристикам. Каждая фаза, отличаясь от предыдущей и последующей, отделена от них определенным моментом времени. Это границы между фазами; в данные моменты происходит смена фаз. Так как каждой фазе соответствует своя ведущая задача, то смена фаз соответствует смене задач движения.

Позы тела на границе двух фаз в момент их смены называют **г р а н и ч н ы м и**. Каждая такая поза служит конечным положением для предыдущей фазы и начальным (исходным) — для последующей. Следовательно, движения в каждой фазе к моменту ее смены должны привести к граничной позе, наиболее благоприятной для решения

ФАЗЫ					
I	II		III	IV	V
Скольжение			Выпад с подседанием	Отталкивание (на взлет)	
Свободное	С выпрямлением опорной ноги	С подседанием			
Элементарные действия		Выпрямление	Подседание	Отталкивание	Опорная нога
		Начало махов		Активные махи	Маховая нога
	Пассивный взлет				Маховая рука
		Навал	Рывок	Туловище	
		Задержка	Бросок	Таз	
	Постановка		Отталкивание		Опорная рука

Рис. 61.

Схема деления системы движения (скользящий шаг на лыжах) на пространственные подсистемы (элементарные действия) и временные (фазы).



задачи последующей фазы. Поэтому граничные позы служат хорошими ориентирами для контроля за правильностью движений.

Фазы, имеющие общие особенности, составляют периоды (например, периоды опоры и периоды полета в беге). Из периодов состоят циклы движений (при их повторности, например, в ходьбе, беге, плавании) или однократные акты (метания, прыжок и др.). Таковы подсистемы временных элементов.

Элементарные действия и фазы — это одни и те же движения, только выделенные в системе по разным признакам для изучения разных сторон объединения движений в системе (рис. 61). И те, и другие элементы, как уже говорилось, объединены в более крупные подсистемы (такие комплексы, как ряды, группы, периоды, циклы и т. п.).

Для выделения подсистем с целью построения модели действия используют следующие правила (по Х. Х. Гроссу): 1) устанавливают строго определяемые границы каждой подсистемы; 2) выявляют конкретное задание данной подсистемы (подцель — как часть общей цели упражнения) и 3) рассматривают взаимодействие всех движений в подсистеме.

Системы движений характеризуются многоступенчатым (иерархическим) построением. Сложные системы (рис. 62) состоят не просто из множества отдельных суставных движений, а из все меньших объединений их — подсистем.

Чтобы выявить состав системы движений, проводится ее системный анализ, расчленение на подсистемы. При этом уже учитывают взаимные связи и взаимодействия, т. е. особенности структуры, — начинается системный синтез.

## § 32. Структура системы движений

Для совершенства системы движений существенно не только из каких движений она состоит (состав системы), но и как организована из них целостная система, как все элементы объединены (какова структура системы)

### 32.1. Структура как проявление взаимодействия

*Структура системы движений — это наиболее сложившиеся и определяющие закономерности взаимодействия ее элементов (подсистем).*

Между множеством элементов, объединенных в систему движений, имеются очень сложные закономерности взаимодействия и взаимосвязи. С одной стороны, элементы, будучи взаимно связанными,

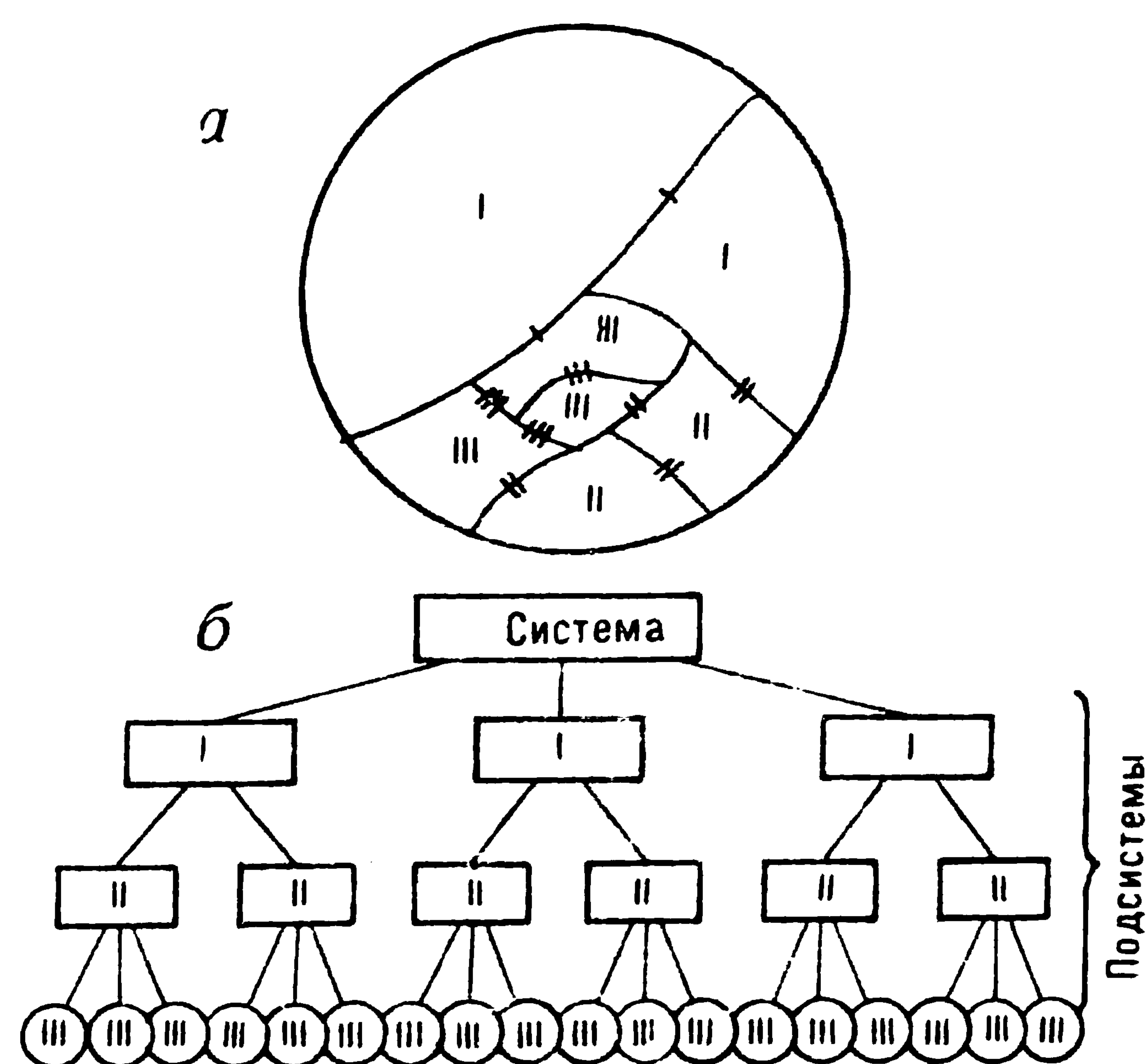


Рис. 62.

Схема построения системы:

а — деление на подсистемы I, II и III порядка,  
б — иерархическое соподчинение в системе



помогают одни другим, способствуют совершенствованию системы, порождают саму систему и ее особенности. Такие связи, по сути дела, с и с т е м о о б р а з у ю щ и е. С другой стороны, неизбежны и внутренние взаимные п о м е х и.

Наиболее частые помехи, возникающие внутри системы, можно разделить на две группы. Во-первых, это рассогласования тяги мышц. Невозможно идеально точно согласовать время начала и окончания мышечных усилий, их величину, быстроту их нарастания и спада и многое другое. В двигательном акте принимают участие сотни мышц, в работе каждой из них неизбежны те или иные отклонения. Поэтому многие серьезные помехи заранее предусмотреть невозможно.

Во-вторых, в сложных биокинематических цепях при движениях с ускорениями возникает множество внутренних сил: инерционных, упругих, реактивных и др. Они передаются по биокинематическим цепям, отражаются, сталкиваются. Это также создает существенные помехи, предусмотреть которые нельзя.

Итак, закономерности взаимодействий (положительных и отрицательных) представляют собой сложную структуру всей системы движений, включающую структуры ее подсистем. Структура системы движений — это не сами движения, а способ их организации в систему.

Структура системы движений определяет собой качество самой системы, ее совершенство при взаимодействии с внешним окружением. От структуры зависит возникновение новых свойств системы, а значит, и возможности ее развития. Целостность системы обусловлена системообразующими связями.

Согласование элементов в пространстве, во времени и по прилагаемым усилиям обеспечивает целесообразность действия. С развитием системы повышается полезный эффект структуры, снижаются возникающие в системе внутренние помехи. Все это результат внутренних взаимодействий. От внутренних взаимодействий, от слаженности элементов зависит совершенство движений. Но движения выполняются в определенных условиях внешнего окружения. Следовательно, кроме внутренних взаимодействий система движений характеризуется и внешними взаимодействиями. Движения спортсмена влияют на внешнее окружение, внешнее же окружение воздействует на движения спортсмена. От использования внешних взаимодействий во многих случаях зависит эффективность решения двигательной задачи.

Вследствие внутренних взаимодействий в подсистемах у целостной системы движений возникают новые — с и с т е м н ы е с в о й с т в а. Эти свойства отсутствуют у каждого из отдельно взятых ее элементов. В спортивной технике системные свойства проявляются, например, в рациональном складывании траекторий, наращивании скоростей в составных движениях, в последовательности и объединении отдельных усилий, в становлении нового общего ритма движений и во многих других общих особенностях технического мастерства.

Наконец, от того, насколько прочны или податливы установившиеся взаимодействия, зависят важнейшие вопросы развития системы: как закреплено достигнутое, насколько возможно его изменение — прогрессивное совершенствование системы. В этом смысле особенности



структуры формируемой системы движений определяют собой возможности ее развития.

Исходя из такого значения структуры, необходимо глубокое и разностороннее ее изучение для лучшего понимания спортивной техники. В системе движений различают двигательные и информационные структуры (рис. 63).



Рис. 63.

Структура системы движений и ее виды

### 32.2. Двигательная структура

*Двигательная структура — это закономерности взаимосвязи движений в пространстве и во времени (кинематическая структура), а также силовых и энергетических взаимодействий (динамическая структура) в системе движений.*

Движения в спорте отличаются своей слаженностью, согласованностью. При наблюдении определяются внешняя картина — форма траекторий (в пространстве) и характер движений. Чтобы изучить кинематическую структуру, используют кинематические характеристики.

По пространственным характеристикам определяют, как взаимно связаны траектории движений, каковы позы — исходные, промежуточные, конечные, т. е. выявляют пространственный рисунок движений, согласованность движений в пространстве.



По временным характеристикам устанавливают, как движения взаимосвязаны и согласованы во времени (раньше, позже), как долго длятся, когда сменяют одно другое, каковы их очередность, ритм, темп и т. п.

Скорости и ускорения как пространственно-временные характеристики вместе с временными определяют характер движения. Изучая взаимосвязи скоростей, можно представить их модель (рис. 64). Движения при более или менее сходной пространственной форме могут иметь разный характер выполнения: быстрее, медленнее, в том или ином ритме и т. п. Итак, все соотношения движений в пространстве и времени определяются их общей кинематической структурой, тем, как они внешне организованы. Каждый из видов кинематической структуры (пространственная, временная, пространственно-временная) раскрывает только ту или иную сторону кинематики системы. Лишь все вместе они раскрывают внешнюю картину движений в целом.

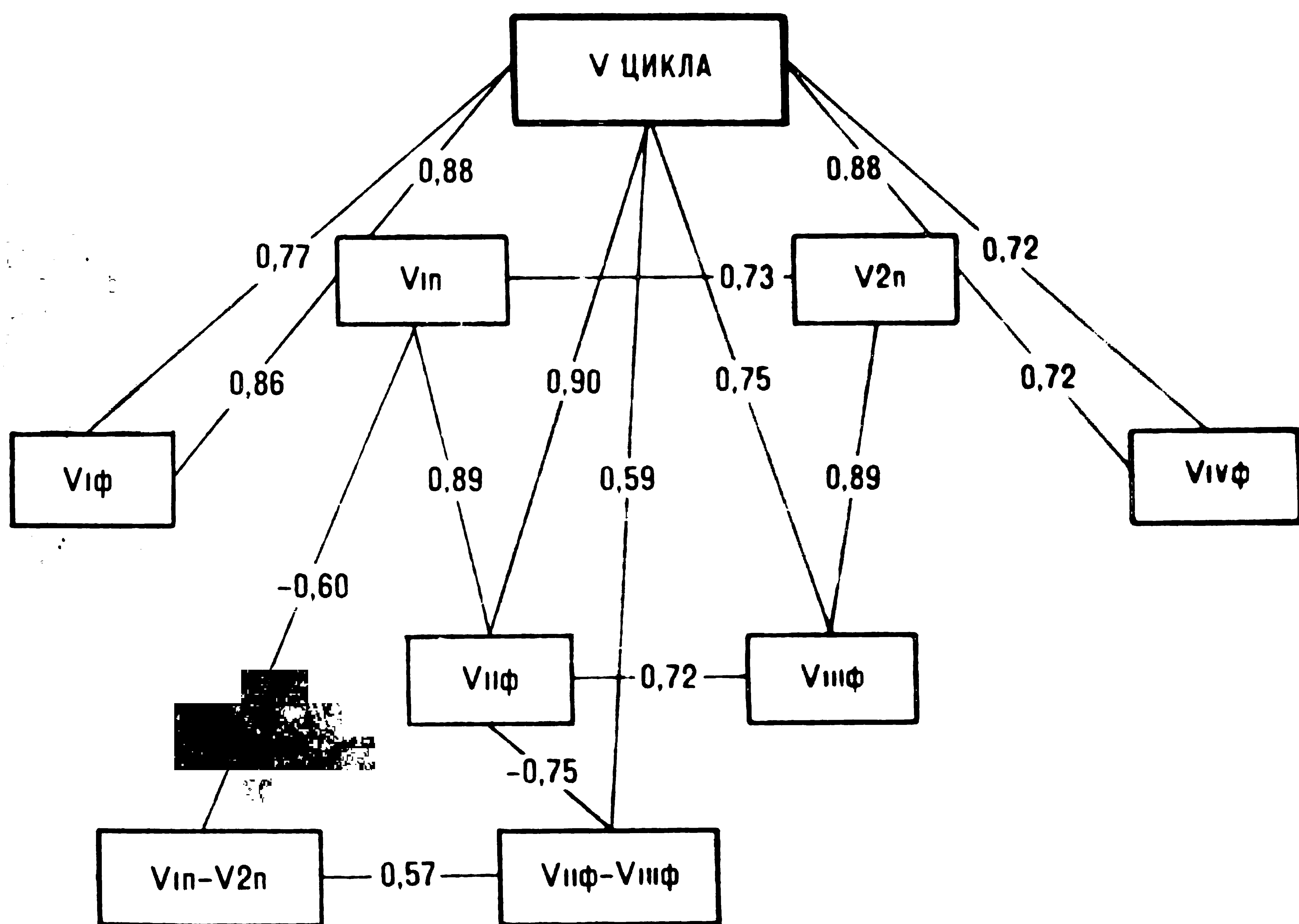


Рис. 64.

Корреляционная модель взаимосвязей скоростных характеристик фаз и периодов цикла плавания способом дельфин; на линиях цифрами обозначены коэффициенты корреляции (по Р. Б. Хальянду)

При обучении физическим упражнениям нередко в первую очередь стараются установить кинематическую структуру движений как их общую видимую организацию, т. е. о п и с а т ь их.

Но этого мало: все движения человека непрерывно изменяются, т. е. скорости звеньев изменяют свою величину (разгон и торможение)



и направление. Части тела человека обладают инертными свойствами (масса, момент инерции). Поэтому наращивание скорости, торможение движения и изменение его направления происходят только при приложении сил. Силы, действуя совместно, могут помогать или мешать друг другу. От того, как они согласованы, и зависит совершенство движения. Динамические структуры и есть такие основные закономерности согласования сил.

Динамические структуры движений изучают по динамическим характеристикам с использованием также и кинематических характеристик: какие силы, какой величины, куда и в каком направлении, когда и как долго приложены и как в результате изменяются движения (рис. 65). Учесть каждую из сотен (если не тысяч) сил практически невозможно, да и не нужно. Обычно изучают согласование наиболее значительных сил и групп сил. Так, в гимнастических упражнениях на снарядах рассматривают силы тяжести, инерции, упругости снарядов, реакции опоры, но не учитывают сопротивление воздуха, трение.

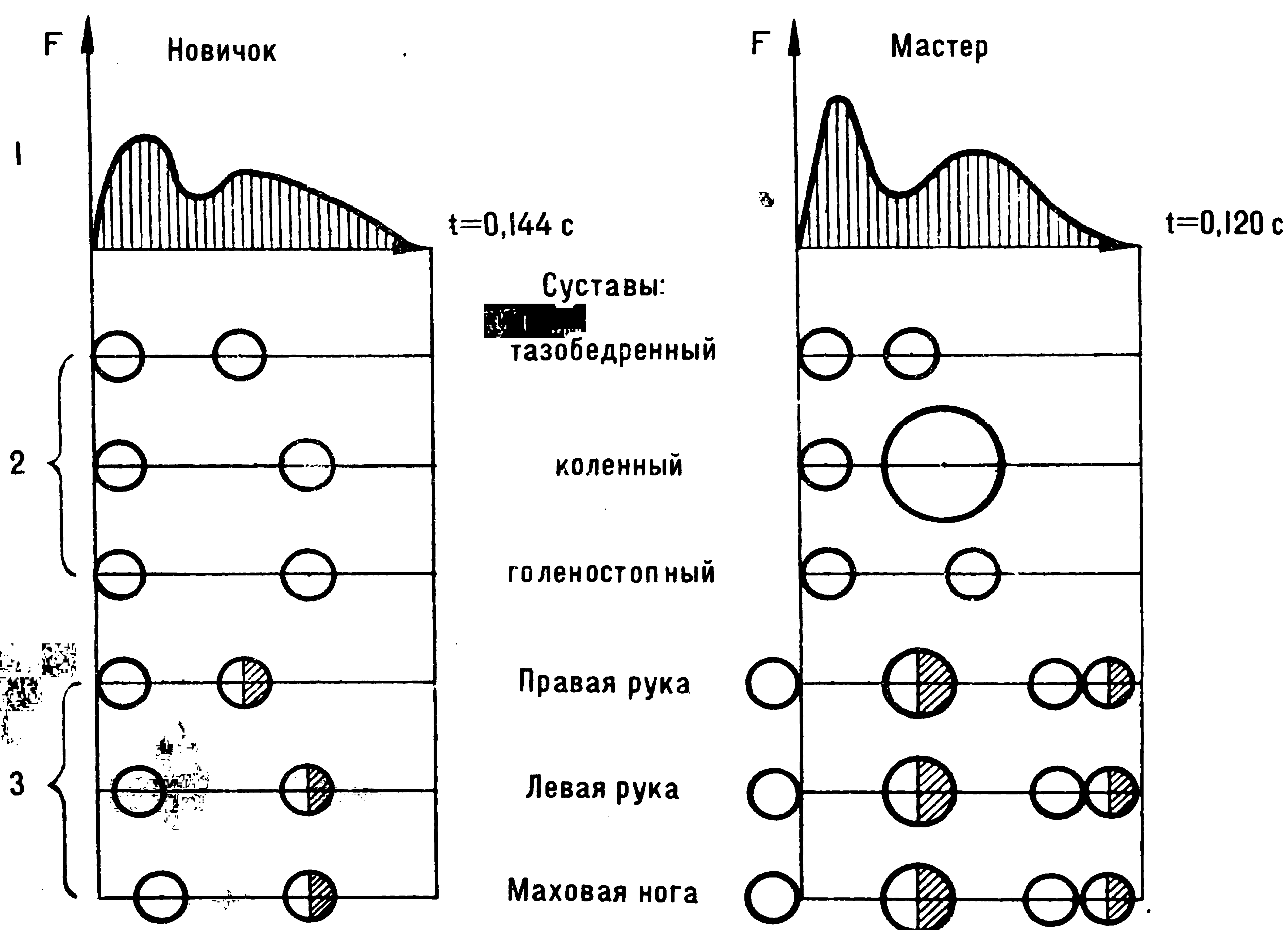


Рис. 65.

Перестройка динамической структуры — перераспределение акцентов усилий (второй толчок тройного прыжка):

1 — на динамограмме; 2 — в суставах толчковой ноги; 3 — в активной (круг) и реактивной (получерный круг) динамике махов (по Ю. В. Верхошанскому)

Особый интерес представляют энергетические структуры — закономерности превращения, преобразования, передачи, подвода и рассеяния энергии вследствие работы сил. Уменьшить потери, повысить экономичность, использовать «даровую» энергию — таковы



задачи совершенствования энергетической структуры в спортивном действии.

Установить динамическую структуру, найти закономерности согласования сил и их результат — это значит раскрыть причины изменения движений под действием сил, т. е. о б љ а с н и т ь механизмы движений.

### 32.3. Информационная структура

*Информационные структуры — это закономерности взаимосвязей между элементами информации (сообщениями об условиях и ходе действия и командами), без которых невозможно управление движениями.*

С помощью нервной системы и другими путями (например, механическими взаимодействиями) в организме передаются сигналы (информация), которые служат для управления движениями. В мозг следуют сигналы об условиях действия, о ходе выполнения движения, а из мозга к мышцам — команды для подготовки к действию и для выполнения самих движений. Источниками сигналов служат многочисленные факторы внешнего окружения и внутреннего состояния организма.

Существуют с е н с о р н ы е структуры осведомительной информации, воспринимаемой спортсменами. Множество сигналов объединяется, синтезируется, образуя так называемые «чувства» (например, «чувство» равновесия, «чувство» осанки, «чувство» дистанции). Сигналы перерабатываются, обобщаются и служат основанием для правильного отражения действительности.

Воздействия, связанные с исполнением движений, так или иначе отражаются в сознании. Они сочетаются со следами информации, сохранившимися в памяти. Формируется еще один вид информационных структур — п с и х о л о г и ч е с к и е структуры двигательного навыка (по В. М. Дьячкову). Это то, что человек знает о движениях, об общих требованиях к ним и о деталях, о своих движениях и технике других спортсменов. Именно формирование этих структур позволяет спортсмену давать себе задания, активно действовать. Создается своего рода модель (образец) предстоящего действия. Формы моделей бывают различными, но существо их одно: более совершенная модель действия может сделать совершеннее и само действие.

Наконец, различают еще э ф ф е к т о р н ы е структуры командной информации — совокупность команд к мышцам и другим органам для управления выполнением движений и их энергетическим обеспечением.

Различают произвольные и автоматические команды. Осознавание цели и хода действий и произвольное управление движениями не снижают роли автоматического управления; наоборот, это обеспечивает лучшее использование автоматизмов.



## 32.4. Обобщенные структуры

*Обобщенные структуры — это закономерности взаимосвязей разных сторон действия; обобщенные структуры обусловлены сочетанием разных видов структур.*

Среди множества возможных обобщенных структур чаще всего изучают ритмические, фазовые и координационные. Их выделяют для более детального изучения общей структуры системы движений.

**Р и т м и ч е с к и е** структуры — это закономерности взаимосвязей движений во времени, соотношение длительности частей всего двигательного акта или действия. Здесь учитывается и то, как распределены во времени акценты усилий, как от них зависит скорость и длительность последующих движений, вызванных этими усилиями. Ритмические структуры являются особо отчетливыми показателями совершенства упражнений. Это ясно видно из того, как ритм, задаваемый, например, звуком, способствует организации движений.

**Ф а з о в а я** структура — это основные закономерности взаимодействия, взаимосвязи фаз по их различным кинематическим и динамическим характеристикам. Определяя требования к каждой фазе, устанавливая, как фазы взаимно связаны, согласуются между собой, как используются детали движений для общего результата упражнений, можно глубже понять и лучше определить роль каждой фазы в целом упражнении.

**К о о р д и н а ц и о н н а я** структура — совокупность всех основных (определяющих) внутренних взаимосвязей в системе движений, а также взаимодействий человека с его внешним окружением во время выполнения упражнения. Понятие «координационная структура» поэтому шире, чем «общая структура» системы движений. Последняя рассматривает в основном только, как организована сама система движений, взаимосвязи внутри нее, а координационная структура охватывает и систему движений, и ее взаимодействие с окружением.

О структурных взаимодействиях судят по биомеханическим характеристикам, их взаимным связям и влияниям. Информационные и обобщенные структуры раскрывают роль тех или иных особенностей системы движений в сложной деятельности спортсмена. Эти структуры так или иначе также опираются на биомеханические характеристики, раскрывающие явления в двигательной деятельности. Структуры системы движений изучают при помощи ее системного синтеза, объединяя (интегрируя) все подсистемы в единую целостную систему, исследуя взаимодействия и взаимосвязи в системе движений.

### **СПОРТИВНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАК УПРАВЛЯЕМАЯ СИСТЕМА ДВИЖЕНИЙ**

Спортивное действие в биомеханике изучается как система движений, которой управляет спортсмен. Чтобы лучше обучать спортивной технике и овладевать ею, надо знать, каковы задачи управления, как оно организовано и какие изменения происходят при формировании и совершенствовании техники.



## § 33. Самоуправляемые системы

Самоуправляемые системы характеризуются тем, что управление ими протекает по основным законам управления и вносится в систему не извне, а осуществляется изнутри, самой системой<sup>1</sup>. Такими самоуправляемыми системами (вещественными) являются спортсмены — они сами выполняют движения и сами управляют своими движениями.

Система движений спортсмена также самоуправляемая (система процессов), так как управляющие воздействия создаются в ней самой.

### 33.1. Понятие об управлении

*Управление представляет собой изменение состояния системы посредством управляющих воздействий, которые направлены на достижение цели.*

Каждая система имеет определенное состояние в любой момент времени. Различают начальное состояние (до начала управления), конечное (заданное заранее) — как задаваемый результат управления и ряд промежуточных состояний. Порядок смены состояний системы рассматривается как поведение системы. Линия поведения системы определяется последовательной сменой ее промежуточных состояний.

Цель управления состоит либо в заданном заранее конечном состоянии (конечный эффект атаки фехтовальщика, высший результат прыгуна в длину), либо в обеспечении заданной линии поведения (исполнение гимнастического упражнения). Часто для достижения конечного состояния необходимо и обеспечение точной линии поведения. В переменных условиях цель уточняется нередко по ходу действия, в зависимости от ситуации. Состояния и поведение системы движений определяются и оцениваются по изменяющимся биомеханическим характеристикам, которые сигнализируют о ходе движений, отражают те или иные стороны самой действительности. Таким образом, совокупность характеристик — это только отображение действительности, самого процесса движений и управления им. Управляемая же система движений — это и есть сама действительность.

Цель при управлении достигается с помощью управляющих воздействий, которые изменяют состояние системы в необходимом направлении. Говоря короче, управление — это процесс достижения цели.

В спортивной технике основные управляющие воздействия — мышечные усилия, с помощью которых происходит также управление и другими силами (тяжести, инерции и др.). Кроме управляющих, всегда (в большей или меньшей мере) существуют сбивающие воздействия, мешающие достижению цели (помехи, вредные сопротивления). Вследствие неточности управляющих воздействий, а также из-за сбивающих воздействий достижение цели происходит с отклонениями от заданных требований.

В спортивной технике отклонения разделяют на недостатки и ошибки. К недостаткам целесообразно относить только те отклонения,

<sup>1</sup> Такое самоуправление характерно для живых систем. В современном построении машин ведущую роль играет поиск автоматического самоуправления.



при которых исполнение качественно в принципе правильно, но количественно недостаточно. В таких случаях обычно надо приложить больше усилий, увеличить скорость без коренной качественной перестройки системы движений. Ошибками же в спортивной технике следует считать существенные отклонения, которые требуют устранения, исправления, коренной качественной перестройки структуры (заменить неправильные движения рациональными). Деление это во многих случаях условно, но позволяет глубже разбираться в отклонениях и правильнее их преодолевать.

Ликвидация отклонений осуществляется посредством коррекций — соответствующих дополнительных (исправляющих) управляющих воздействий. Они бывают вызваны самим отклонением как ответ на уже возникшее отклонение («регулирование по отклонению» в теории управления); коррекции возможны и как предупреждение отклонения, как ответ лишь на сигнал об источнике возможного отклонения, о «возмущении» («регулирование по возмущению») — это предварительные приспособления.

Коррекции после отклонения (*post factum*) — по Н. А. Бернштейну) не всегда могут устранить последствия уже наступившего отклонения, особенно в быстро текущих движениях. Коррекции же «по предупреждению» (*ante factum*) обеспечивают приспособительную изменчивость, не допускают углубления отклонения и поэтому более ценны, если только успевают своевременно и точно «срабатывать».

Движениями спортсмена можно управлять и со стороны, через волю спортсмена (указания тренера спортсмену) и путем физического воздействия (вынуждающий тренажер, помощь, поддержка, страховка).

### 33.2. Построение самоуправления движениями

*Самоуправляемая система включает в себя две подсистемы — управляющую и исполнительную, которые соединены каналами прямой и обратной связи между собой и с внешним окружением.*

Управляющая подсистема (мозг) посылает команды органам движения (объекту управления) по каналам прямой связи (двигательным нервам). Органы движения, выполняя команды, воздействуют на внешнее окружение (тоже прямая связь). От внешнего окружения сигналы о его состоянии и изменениях в нем по каналам обратной связи в организме (чувствительным нервам) доходят до мозга. Получается замкнутый (кольцевой) контур управления (рис. 66). Эту простейшую схему надо уточнить: в подсистему управления сигналы обратной связи поступают и через подсистему исполнения, а также непосредственно через отдельные органы чувств. Получается ряд замкнутых циклов, которые обеспечивают управление по ходу движения.

Процессы управления в целом имеют кольцевой, циклический характер. Н. А. Бернштейн различал периферический и центральный циклы взаимодействия. Периферический цикл взаимодействия (тело спортсмена — окружение): мышечные усилия вызывают воздействие на окружение; противодействие же окружения (внешние силы) вызывают изменение мышечных усилий. Центральный цикл взаимодействия



(мозг — тело спортсмена): мозг изменяет своими командами состояние мышц и, значит, движения; сигналы же, вызванные движениями тела спортсмена, влияют на управление со стороны мозга.

Процесс движения начинается с его подготовки. От внешнего окружения (точнее, от сенсорной части поля действия)<sup>1</sup> по каналам обратной связи поступают сигналы об обстановке предстоящего действия, а от подсистемы исполнения (самого спортсмена) — об ее готовности к действию. С учетом этих сигналов от подсистемы управления уже по каналам прямой связи следуют команды к подготовке. Они относятся и к подсистеме непосредственного исполнения, и к обслуживающей подсистеме энергетического обеспечения (подсистема, энергетически обеспечивающая деятельность органов движения, на схеме не показана).

После необходимой подготовки, которая может происходить даже в доли секунды, подаются пусковые команды. В ходе движения по каналам обратной связи поступают сведения об изменениях и в окружении, и в состоянии организма (в самом широком смысле). На этой основе ведется текущее управление движениями, происходит их согласование, обеспечивается их целостность, соответствие внешним и внутренним изменениям, направленность на решение задачи.

Приведенные общие понятия о процессах управления соответствуют не только известным, но и во многом еще неизвестным физиологическим процессам. Эти понятия позволяют выделить главный смысл процесса управления, помогают оценить значение каждой составной части схемы управления. Из этой схемы видно, что обратная связь является неперенным условием текущего управления в сложных переменных условиях. Отсюда, конечно, не следует, что сама обратная связь осуществляет управление. Без отлично работающей подсистемы управления никакая самая совершенная обратная связь сама по себе не решает задач управления.

Понимание кольцевого характера процесса управления исключает неверное представление о том, что достаточно только создавать совершенные команды и движения будут правильными. Н. А. Бернштейн, первым решивший в принципе задачу управления движениями, писал: «Движение возможно лишь при условии тончайшего и непрерывного, не предусмотримого заранее согласования центральных

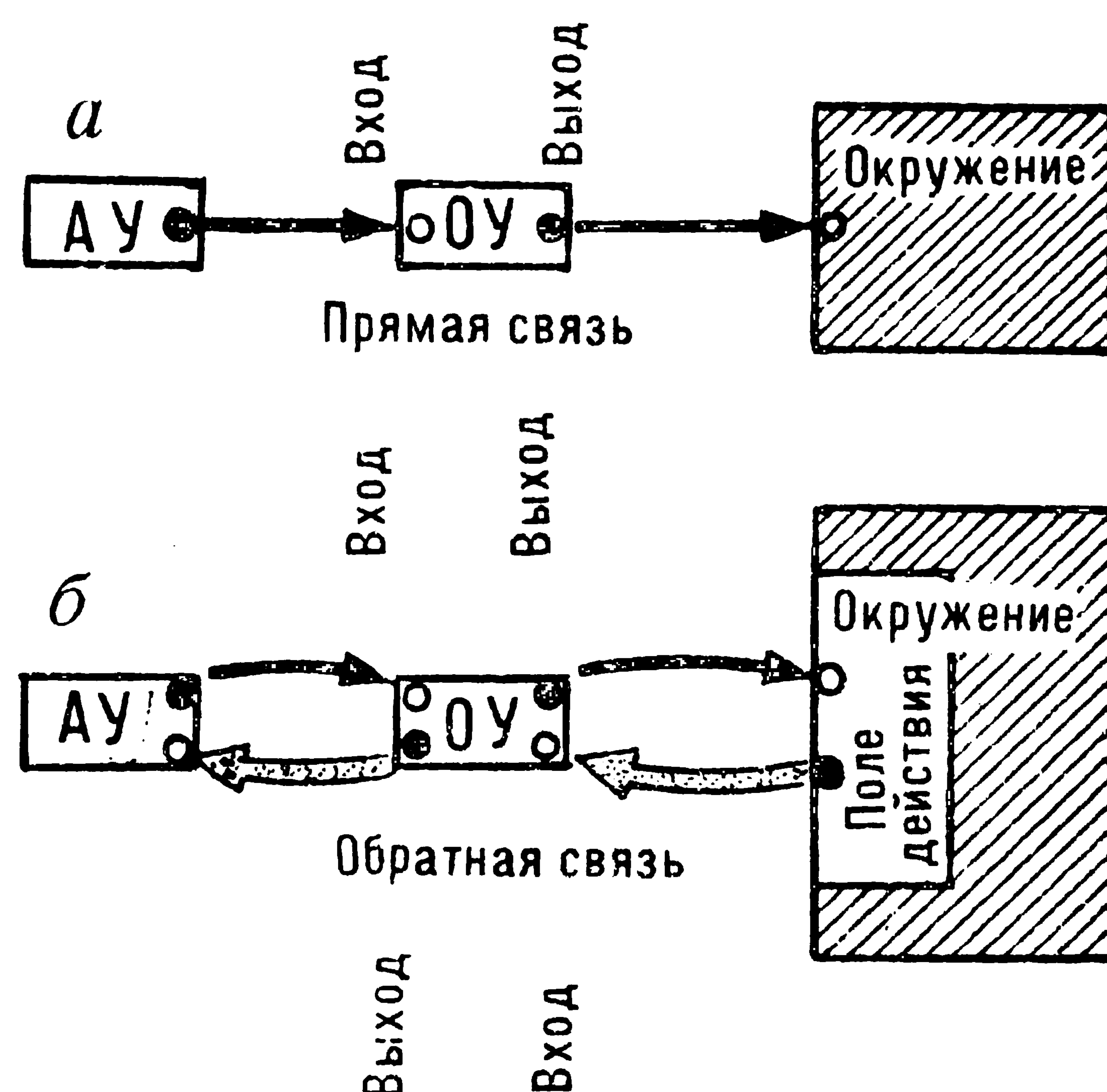


Рис. 66.

Схема управления:

а — с незамкнутым контуром; б — с замкнутым контуром; АУ — аппарат управления; ОУ — объект управления

<sup>1</sup> Поле действия — та часть внешнего окружения, с которой происходит взаимодействие. На его моторную часть действуют движения человека, а от сенсорной части поступают сигналы.



импульсов (команд.—Д. Д.) с явлениями, происходящими на периферии тела».

Невозможно правильно понять движения человека, их совершенство, пути их формирования, не принимая во внимание решающий фактор — управление движениями.

### 33.3. Информация и ее передача

*Информация в системе движений — это сообщения о состоянии и изменениях внешнего окружения и организма, а также команды подсистемам исполнения и обеспечения.*

Информация осуществляется посредством сигналов (к центру — сообщения, от центра — команды). Они всегда связаны с материальным носителем, представляют собой результат изменений носителя вещества или энергии. Сама же информация не материальна: она не вещество и не энергия, она — содержание сигналов, используемых в управлении.

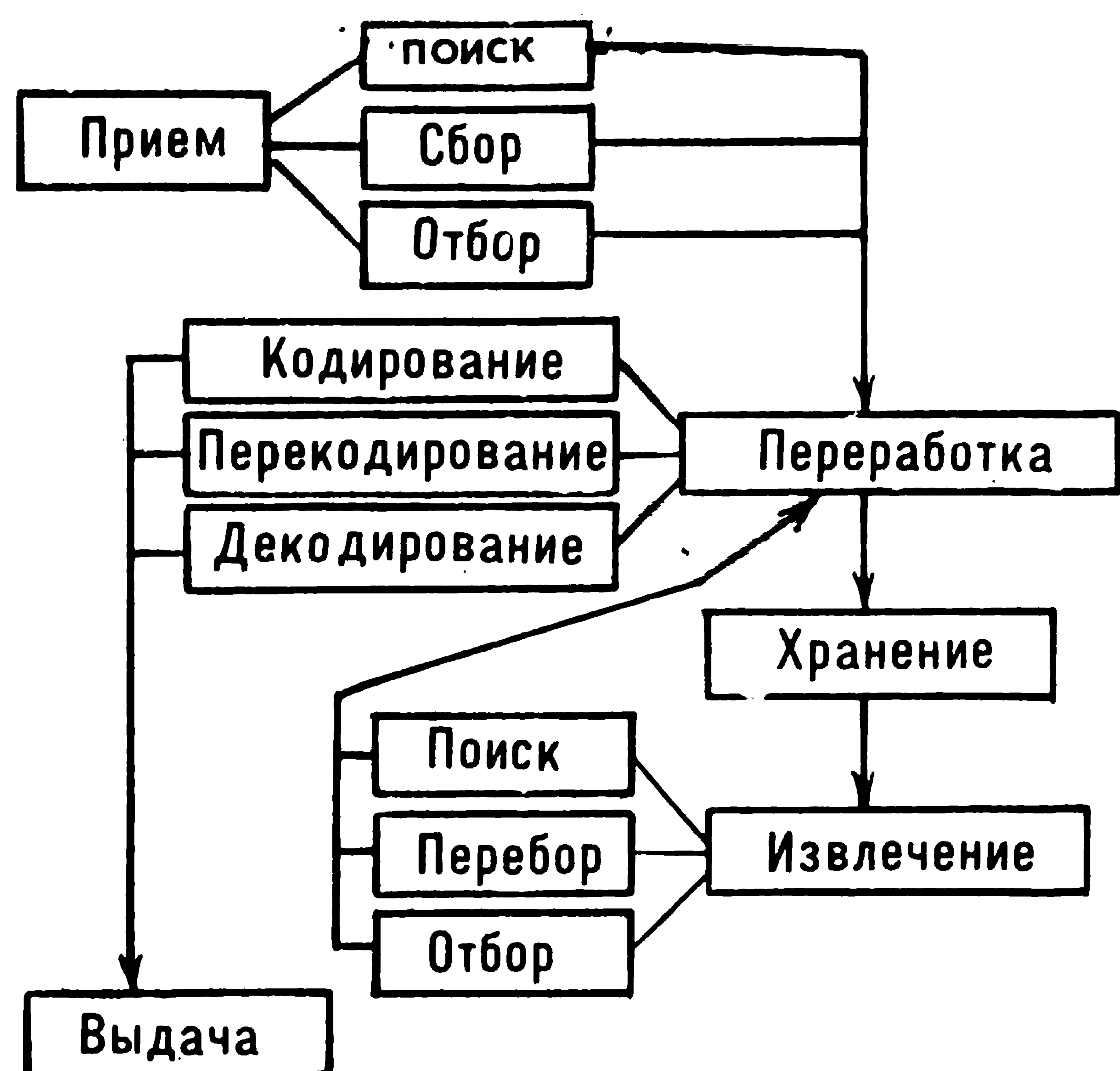


Рис. 67.

Движение информации в самоуправляемой системе

На пути передачи информации ее носители сменяются много раз (например, звуковая волна, колебания элементов в слуховом аппарате, процесс возбуждения в слуховом нерве при приеме звукового сигнала). Значит, с каждой сменой носителя происходит перекодирование<sup>1</sup> сигнала, т. е. одна форма сигнала превращается в другую при сохранении его содержания. В пределах одного носителя информации содержание ее передается модулированием<sup>2</sup> сигнала, иначе говоря, изменяется его мера (например, изменение звуковых колебаний). При кодировании и модулировании возможны некоторые искажения информации из-за помех в

каналах связи, что, естественно, усложняет управление.

Информация поступает на «вход» соответствующей подсистемы — происходит прием информации. В организме «входы» представляют собой не пассивные «входные ворота» (рис. 67). Прием информации ведется активно, идут сложные процессы поиска, сбора и отбора сигналов. Необходим быстрый и точный прием только существенных сигналов, т. е. прием с известной избирательностью. Спортсмен постоянно учится воспринимать именно ценные, нужные сигналы, а не все.

<sup>1</sup> Код (франц.) — сборник условных сигналов.

<sup>2</sup> Модус (лат.) — мера, модуляция, например изменение амплитуды или частоты колебаний.



В системе информация перерабатывается, происходит ее преобразование. Это не только сложные процессы дальнейшего перекодирования, но и синтетическая переработка сигналов. Получается новый смысл информации, повышается ее ценность, сведения сопоставляются, обобщаются и преобразуются в команды. Этот этап — чрезвычайно важная часть управления, так называемое «принятие решений». Речь идет не только о сознательных, произвольных решениях человека (таких решений относительно немного, малые доли процента от всех решений). В кибернетическом смысле речь идет о «решении» — команде, изменяющей как готовность (подготовительная команда), так и само движение (пусковая, управляющая, корректирующая, завершающая команды).

Информация в процессе переработки направляется на хранение в «запоминающие устройства» («память системы»). Следы воздействия, следы информации могут иметь самый различный характер: например, от умственной памяти (запоминание знаний), чувственной памяти (запоминание ощущений) до рабочей гипертрофии мышц (следы информации от тренировки). Таким образом, информация оставляет следы в организме.

Различают кратковременную память (она бывает иногда более отчетлива, но ее следы быстро стираются) и долговременную память, которая остается надолго (например, умение плавать, остающееся на всю жизнь). Научиться чему-либо — это с точки зрения кибернетики накопить информацию в памяти. Ранее накопленная информация извлекается из памяти и используется в любом действии. С такой точки зрения обучение технике и ее совершенствование — это накопление информации.

Наконец, передача информации в системе завершается ее выдачей на «выходе» системы. Выдача бывает непосредственной — сразу после поступления в систему, а также с задержкой — после извлечения из памяти. Из подсистемы управления информация выдается в виде команды подсистеме исполнения, а из нее уже в форме двигательной деятельности изменяет внешнее окружение и целесообразно преобразует самого человека в процессе физического воспитания.

Информация отображает прошлое системы (сохраняясь в памяти), обуславливает ее настоящее (состав и структуру двигательного действия) и предопределяет ее будущее (как модель, образец того, что будет исполнено). Модель у тренера и спортсмена в их сознании, понимании имеет содержательную, смысловую (логическую) сторону. У спортсмена, кроме того, формируется и сенсорный аппарат (чувственная сторона) контроля за ходом исполнения. Тренер помогает спортсмену создать чувственно-логическую модель, образец для овладения техникой и ее совершенствования. Эта модель основана на знании и понимании биомеханических закономерностей исполнения движений, результата упражнений и оценке данных чувственного и логического самоконтроля.



## § 34. Управление движениями в переменных условиях

Движения всегда выполняются в переменных условиях, как бы ни казались они постоянными. Каждое движение сопровождается изменением мышечных усилий, положения звеньев тела и их скоростей, взаимодействия с опорой, с другими физическими телами и средой. Возникают, изменяются и исчезают внешние силы. Таким образом, внутренние и внешние механические условия переменны. Поэтому переменны и потоки информации, что и обуславливает приспособление движений к условиям действия. Управление движениями в таких условиях чрезвычайно сложно и вместе с тем в принципе очень совершенно.

### 34.1. Функциональная структура двигательного действия

*Функциональная структура двигательного действия — это закономерности такого объединения множества функций (функциональной системы, по П. К. Анохину), которое необходимо для успешного решения двигательной задачи.*

Для выполнения любого действия в организме формируется функциональная система — объединение множества функций. К ним относятся энергетическое обеспечение действия, само двигательное исполнение и управление тем и другим процессами. В биомеханическом аспекте рассматривается структура системы движений: ее двигательная сторона (фактические траектории, скорости, силы и др.) и информационная (заданные характеристики и способы ее формирования). Здесь, естественно, не рассматриваются аспекты психологические (потребности, установка и др.), физиологические (механизмы высшей нервной деятельности), биохимические (превращение химической энергии в механическую).

Для управления системой движений необходима прежде всего цель управления — двигательная задача действия.

*Двигательная задача действия включает общую цель системы движений, детализацию ее по подсистемам, направления оптимизации движений и на этой основе требования к движениям.*

Общая цель определяет, чего следует достичь. У каждой подсистемы (элементарного действия, фазы) имеется своя частная цель (подцель) как требуемый результат. Только выполнение каждой подсистемой своей детализованной частной подцели обеспечивает выполнение общей цели. Это своего рода разделение функций, специализация. В свою очередь, каждая подцель достигается путем оптимизации, улучшения движений в определенном направлении. При определении задачи оптимизации не идет речь о конкретных движениях, а только в общем виде определяется, чего именно в этой подсистеме следует добиваться (например, уменьшить сопротивление воды, уменьшить трение). И лишь на этой основе возникают и уточняются конкретные требования к движениям. Таково логическое построение двигательной задачи (по Х. Х. Гроссу) в тех действиях, которые человек сознательно совершенствует. Можно считать, что двигательная задача и пред-



ставляет собой модель требуемого действия (по Н. А. Бернштейну). Она включает, следовательно, задаваемый результат, а также направления и средства совершенствования ее достижения.

При наличии более или менее развернутой двигательной задачи подготовка спортсмена ведется более совершенно — у него создаются программы управления.

*Программы управления включают выработанные возможности выполнения движений (двигательные качества и навыки) и приспособления их к переменным условиям двигательного действия.*

В процессе физического воспитания развиваются двигательные качества, формируются двигательные навыки, создаются возможности решения двигательных задач. Несколько обобщая, можно сказать, что с точки зрения управления движениями тренировка обеспечивает накопление двигательных возможностей на основе врожденных возможностей, накопление множества программ управления.

Формирование программ управления — очень многосторонний процесс потому, что и само управление имеет много сторон. Так, Н. М. Амосов различает программы подготовки (предварительное изменение состояния перед действием и в ходе самого действия, перед каждой его фазой), программы выбора (определения варианта, наиболее соответствующего изменяющимся условиям), программы слежения и сличения (сопоставление фактического выполнения и оптимальной программы в данных условиях), программы цели (мобилизация возможностей перестройки движений при помехах для сохранения оптимального варианта действия), программы усиления (аварийные программы достижения цели даже не лучшим вариантом, использование резервов в тяжелой ситуации) и др. Каждая из названных программ также требует многих более детализованных «подпрограмм». Это и не удивительно, так как управление движениями человека относится к сложнейшим процессам. Таким образом, программа управления предопределяет путь и способы решения задач с использованием созданных возможностей на основе содержащихся в двигательной задаче требований.

Контроль за выполнением программы осуществляется при помощи сигналов обратной связи: они обеспечивают слежение, сличение, поправки, перестройки и другие процессы<sup>1</sup>. В этом контроле при выполнении физических упражнений, особенно в спорте, крайне важное место занимает самоконтроль на основе отчетливых двигательных представлений и понимания механизма движений.

Итак, управление движениями осуществляется благодаря передаче и переработке информации: устанавливается двигательная задача; выбираются необходимые, выработанные заранее в процессе тренировки программы, а также создаются новые; передаются команды мышцам (произвольные и автоматические); ведется контроль за ходом действия; вносятся коррекции. Короче говоря, в функциональную

---

<sup>1</sup> В очень быстрых точных движениях коррекции не успевают произойти: точность, по-видимому, достигается благодаря ранее выработанным (постоянным) командам в относительно постоянных условиях.



структуру входят закономерности как формирования двигательной задачи (задания на будущее), так и подготовки и реализации программы управления (выработанные заранее возможности).

### 34.2. Оптимизация управления

*Оптимизация управления в спортивной технике включает поиск оптимальной модели двигательного действия (предмета обучения), пути его построения (методики обучения) и наиболее совершенного выполнения действия.*

Оптимизация модели осуществляется посредством научных исследований различных сторон и деталей механизма двигательных действий. Целостная модель строится на основе экспериментальных данных, теоретического анализа и практического поиска.

О п т и м у м (что-то наиболее соответствующее задаче в данных условиях) может быть только один<sup>1</sup>. Если же изменяются условия, то изменяется и оптимум. Но так как условия движений переменны, то и каждым условиям соответствует свой оптимум. При более или менее сходных условиях имеются более или менее сходные, близкие оптимумы, их вариации. Иначе говоря, имеется как бы вариативный оптимум, приспособляющийся к переменным условиям. Такой оптимум имеет допустимые границы отклонений, в пределах которых сохраняется оптимальность как лучшее соответствие программ управления двигательной задаче. Из такого решения вопроса вытекает педагогическая установка: искать не единственный точный оптимум, а вырабатывать способность варьировать его соответственно условиям, сохраняя этим возможности достижения высшего результата.

Оптимальная техника может быть построена только оптимальной методикой. Если в методике используются не наилучшие пути, допускаются просчеты, стойкие ошибки в технике, то следы их так или иначе останутся в системе движений. В трудных условиях соревновательной борьбы, при высоком эмоциональном и физическом напряжении, эти следы могут «всплыть» и техника окажется не оптимальной. Основой оптимальной методики обучения и совершенствования служит модель рациональной техники, понимание особенностей ее деталей, их взаимосвязей, глубокого смысла каждого требования к движениям, т. е. биомеханическое обоснование техники.

Оптимизация предмета и методики обучения должна привести и к оптимизации исполнения. Данные биомеханического обоснования спортивной техники и служат для того, чтобы найти все эти три звена оптимизации технического мастерства спортсмена.

### 34.3. Формирование и совершенствование систем движений

При обучении новым упражнениям: а) используются соответствующие, ранее сформированные подсистемы движений; б) затормаживаются подсистемы, непригодные для решения данной задачи; в) фор-

<sup>1</sup> Когда говорят «самый оптимальный», искажают суть понятия оптимума: могут быть варианты ближе к оптимуму или дальше от него. «Не самый оптимальный» — это просто не оптимальный.



мируются новые подсистемы, необходимые для решения новой двигательной задачи, и г) происходит (на этой основе) формирование структуры вновь создаваемой системы движений.

Двигательная деятельность человека отличается чрезвычайной способностью и к функциональной перестройке, и к накоплению форм поведения. С возрастом и накоплением двигательного опыта создаются все большие возможности использования ранее освоенных движений. Поскольку возникает новая двигательная задача, для ее решения необходима выработка новых подсистем движений и вместе с тем подавление тех подсистем, которые не могут быть использованы, но могут помешать решению новой задачи (Л. А. Орбели).

Приспособление старых подсистем, объединение их с новыми, да еще при торможении непригодных, являются сложным длительным процессом установления новых взаимодействий — формирования новой структуры целостной системы движений. Структуры подсистем объединяются, согласовываются. Трудностей при этом возникает немало, хотя бы из-за различий характера подсистем, их временных характеристик (в частности, ритмов), степени совместимости, устойчивости к помехам, осознаваемости и др.

При построении системы движений ставится ряд задач. Прежде всего необходимо о з н а к о м л е н и е с новым упражнением (рассказ, показ) — создание модели упражнения, установление требований к его выполнению. Ознакомление включает в себя теоретическое понимание внешней картины (описание) и механизма (объяснение) движений, их кинематики и динамики, создание зрительного образа при наблюдении за показом и особенно получение двигательных ощущений при первых попытках выполнения упражнения в целом или подводящих к нему упражнений. В результате ознакомления создается двигательное представление<sup>1</sup>. Это происходит не сразу, а нередко после многократного повторения с уточнением на последующих ступенях обучения. В основе ознакомления лежат методы рассказа, показа и пробного выполнения упражнения.

Следующая группа задач — о с в о е н и е разучиваемого упражнения или его деталей. Оно продолжается до тех пор, пока спортсмен не сможет в основном правильно и уверенно выполнять требования к движениям. Построение системы возможно преимущественно аналитическим путем: с помощью подводящих упражнений формируются элементы будущей системы, а потом из них складывается целое упражнение (например, в гимнастике). Для освоения ряда упражнений более пригоден преимущественно синтетический путь: сначала в общем виде создается целое, а потом совершенствуются его детали (например, в плавании). Оба пути тесно связаны, применяются в зависимости от особенностей разучиваемого упражнения, могут чередоваться по ходу обучения.

Третья группа задач связана с применением упражнения для

---

<sup>1</sup> Двигательное представление есть результат чувственного познания и абстрактного мышления. Оно включает общие сведения о движениях, индивидуальный опыт и приемы самоконтроля за движениями. В известной мере это и двигательная задача, и программа управления.



повышения э ф ф е к т и в н о с т и упражнения (достижения более высокого результата) и н а д е ж н о с т и его исполнения (при заданном результате).

Все три группы задач ставятся не только при начальном формировании системы движений, но и в процессе дальнейшего совершенствования техники спортивных упражнений. Поэтому это не последовательные этапы обучения, однократно сменяющие друг друга; эти задачи ставятся снова и снова, многократно и каждый следующий раз на более высоком уровне.

Совершенствование техники начинается после завершения (в основном) формирования системы движений и продолжается в течение всего времени, пока спортсмен тренируется. В основе совершенствования техники физического упражнения лежит перестройка системы движений, особенно ее структуры. Взаимодействия между ее элементами приобретают все более упорядоченный характер; отклонения в исполнении движений, связанные с их недостаточным совершенством, уменьшаются; приспособительные изменения, наоборот, расширяют границы допустимых отклонений при разнообразных переменных условиях; увеличиваются помехоустойчивость и надежность исполнения, исчезают случайные существенные отклонения.

## **§ 35. Направление развития систем движений**

Спортивно-техническое мастерство зависит от совершенства систем движений, которые в процессе тренировки постоянно перестраиваются благодаря упражнению. Ход перестройки обусловливается внешним воздействием. Но определяющими являются внутренние факторы — взаимодействия между подсистемами и их элементами, внутренние структуры, создаваемые управлением. Источниками «самодвижения», развития в живых системах служат внутренние противоречия. Направления развития систем движений имеют противоречивый характер. Знание этих направлений развития обеспечивает возможность воздействия на развитие систем движений и управление ими.

### **35.1. Интеграция и дифференциация**

**И н т е г р а ц и я** представляет собой объединение множества движений в единое целое на основе их взаимодействия при подчинении всех частностей единой цели действия.

Интеграция проявляется во влиянии движений друг на друга. Если движения в подготовительных фазах выполнены правильно, то в следующих за ними исполнительных фазах движения должны быть более эффективными. Ошибка, допущенная в предыдущих фазах, обычно проявляется и в последующих, но может вызывать и одновременные изменения в движениях других звеньев.

Для интеграции характерно подчинение всех движений общей цели. Оно проявляется в направленности всех движений спортсмена на решение определенной двигательной задачи. Так, в упражнениях на заданную внешнюю картину или максимально измеряемый результат



практически не бывает лишних, случайных движений. Все они целесообразны, т. е. соответствуют своему целевому назначению. Интеграция двигательного состава в систему осуществляется посредством формирования структур, объединяющих множество движений в систему.

**Д и ф ф е р е н ц и а ц и я** как различие в целой системе множества неоднородных составных частей (деталей) обеспечивается специализацией элементов системы движений и определением их роли. Чем правильнее понимает спортсмен технику, чем лучше ею владеет, тем более тонко может ее отрабатывать, различать и при необходимости контролировать более дробные, но важные детали.

В каждый период подготовки существуют ведущие элементы и структуры, на которые спортсмену нужно обращать особое внимание. Необходимо знать, на чем концентрировать внимание, на что его своевременно переключать, как распределять его на ряд объектов, как сохранять его устойчивость. Сознательная техническая подготовка невозможна без дифференциации системы.

Наиболее связаны элементы в низовых подсистемах. По мере их укрупнения взаимосвязи становятся слабее, значит, расчленить элементы проще. На изолированном выполнении таких подсистем основан подбор подводящих, имитационных, настроечных и других упражнений.

В построении системы движений проявляются тенденции и к интеграции состава (объединению частей в целом) и к дифференциации системы (расчленению целого на части). Движения в результате сочетания этих тенденций развития становятся и более объединенными, целостными и в то же время более детализированными.

В процессе тренировки по мере необходимости то один, то другой путь является ведущим.

### 35.2. Стабилизация и вариативность

**С т а б и л и з а ц и я** системы движений рассматривается как повышение ее устойчивости, достижение постоянства высокого результата путем уменьшения влияния сбивающих воздействий (помех).

Стабилизация системы достигается сохранением решающих характеристик в пределах допустимых отклонений; это обеспечивает устойчивость результата, хотя и не сохраняет абсолютно полной повторяемости всей системы во всех деталях.

Надежность выполнения спортивного упражнения во многом зависит от устойчивости (стабильности) системы движений к сбивающим воздействиям. Как известно, при выполнении упражнения всегда бывают более или менее значительные отклонения его характеристик. Стабилизация системы как повышение ее устойчивости касается не всех особенностей движений, а только главных — решающих для постоянства высокого спортивного результата.

Поскольку невозможно полностью устранить отклонения, выявляют характеристики, определяющие результат упражнения; удерживают их отклонения в допустимых пределах, выход за которые снижает результат. В группе упражнений на заданную внешнюю картину



(гимнастика, прыжки в воду и др.) решающими являются кинематические характеристики; в группе упражнений на максимальный результат (плавание, легкая атлетика и др.) — динамические; в группе противоборств (игры и единоборства) — это преимущественно требования к точности (пространственной, временной, точности усилий) в завершающие моменты действий для рабочих точек тела спортсмена.

Задача стабилизации системы движений означает стремление сохранить высокие результаты упражнений, а не все ее особенности.

**В а р и а т и в н о с т ь** как неизбежные отклонения элементов и структур (выявляемые по характеристикам движений) имеет различное происхождение и значение. Приспособительные и коррекционные изменения преследуют цель сохранить отклонения в допустимых пределах. Приспособительные изменения снижают возможность будущих существенных отклонений, коррекционные — устраняют уже возникшие отклонения. Эффект предварительных полезных изменений движений зависит от чувствительности органов, сигнализирующих о приближении возмущающих воздействий, а также от быстроты и точности реакции управляющего и исполнительного аппаратов. Возмущающими воздействиями могут быть: действия противника, ошибка партнера, травма, неожиданные изменения окружающей среды и др. Как видно, помехи очень разнообразны. Они по-разному влияют на самые различные особенности движений. Отсюда вытекает требование многомерности помехоустойчивости — создания готовности к борьбе с разнообразными помехами.

По мере повышения мастерства уточняются характеристики движений рабочих точек, уменьшается их разброс. Это особенно проявляется в ответственные фазы движений. Допустимые границы приспособительных изменений, наоборот, расширяются. При овладении упражнением отклонения у новичка сначала увеличиваются (поиск решения), а потом их диапазон сужается (выработка оптимальной системы, устранение лишних движений). По мере роста мастерства приспособительная вариативность вновь расширяется, особенно в противоборствах.

Следовательно, целенаправленная вариативность системы обеспечивает снижение действия помех для стабилизации результата, а это повышает и надежность выполнения упражнения. С этой точки зрения справедливо говорить о вариативности, стабилизирующей систему.

### 35.3. Стандартизация и индивидуализация

**С т а н д а р т и з а ц и я** движений направлена на обеспечение единых требований к современной наиболее рациональной технике<sup>1</sup>.

Образец в технике обозначают термином «стандарт» (англ.) и «эталон» (франц.). Но стандарт и эталон как понятия принципиально отличаются друг от друга. Стандарт предусматривает определенные допуски — разницу между наибольшими и наименьшими значениями

---

<sup>1</sup> В каждый период развития спорта существует так называемая современная техника. Отвечая требованиям правил соревнований, это наиболее рациональная техника, сложившаяся в результате поиска, отбора и закрепления в практике наиболее совершенного.



предельного отклонения. Эти отклонения в зависимости от практических требований могут быть значительными. Эталон — это очень точный образец для измерения. В нем тоже есть погрешности, но они должны быть исчезающе малы. Следовательно, поиски эталона техники предполагают стремление сделать технику всех спортсменов независимо от их индивидуальных особенностей одинаковой. Поиски же стандарта означают признание факта вариативности техники, понимание не только неизбежности, но и необходимости отклонений — приспособительных и коррекционных. При этом обязательно предусматривается необходимость и индивидуальных отклонений.

И н д и в и д у а л и з а ц и я техники достигается использованием в ней положительных особенностей спортсмена и снижением влияния отрицательных. Для каждого вида спорта, спортивных упражнений характерен определенный профиль развития двигательных качеств. Техника каждого спортсмена обусловлена также его индивидуальным профилем физического развития. Типовые особенности телосложения и подготовленности спортсмена позволяют находить и «типовую» индивидуализацию его техники. Сугубо же личные особенности требуют уже «персональной» индивидуализации.

Индивидуализация означает как приспособление техники к особенностям спортсмена, так и развитие его функциональных возможностей соответственно требованиям техники.

#### 35.4. Соотношение произвольности и автоматизма в управлении

П р о и з в о л ь н о с т ь управления движениями — это способность человека по своей воле «вызывать, прекращать, усиливать и ослаблять движение» (И. М. Сеченов). Человек управляет движениями произвольно при очень значительном удельном весе автоматического управления. Вся сознательная активная деятельность спортсмена — произвольная. Внимание к деталям движений организовано волей. Волевые действия, подчиненные сознательно поставленной цели и характеризующиеся преодолением препятствий, во многом зависят от информации, воспринимаемой при наблюдении.

А в т о м а т и з а ц и я управления приводит к более прочному совершенному исполнению движения, что позволяет уменьшать произвольный контроль за ними и переключать внимание на другие объекты. Нельзя забывать, что при нерациональной тренировке автоматизируются и ошибки.

Сочетание произвольности и автоматизма управления вырабатывается в процессе тренировки. Формируются способность и навыки переключения внимания с деталей движений на более общие задачи (достижение цели, борьба с помехами и др.). По мере овладения техникой многие особенности и детали движений выходят из-под произвольного контроля и управления, становятся автоматизированными. Активное внимание и волевые усилия обращаются на основные, самые важные особенности движений, что приводит к повышению качества их выполнения.

Соотношение произвольности и автоматизации управления зависит



от особенностей системы движений, степени овладения ими, условий выполнения, причин, требующих произвольного контроля и волевых усилий.

### 35.5. Фиксация и прогрессирувание

**Ф и к с а ц и я** как закрепление освоенного — необходимое условие дальнейшего совершенствования. Но чрезмерная фиксация препятствует перестройке системы движений и затрудняет дальнейшее прогрессирувание, поэтому может оказаться тормозом совершенствования. Чрезмерно фиксированные скорость, ритм, темп, размах движений, а также позы, усилия представляют собой своего рода барьеры, потолки, пороги, препятствующие дальнейшему росту мастерства. Причина чрезмерной фиксации — в однообразии применяемых средств, методов и условий тренировки. Монотонность условий и содержания тренировочных действий — одно из наиболее частых препятствий в прогрессирувании технического мастерства.

Все разнообразные противоречивые тенденции развития системы движений взаимодействуют не только в пределах изложенных направлений развития систем движения. Они взаимосвязаны в самых разных сочетаниях, поскольку отражают разные стороны одной и той же развивающейся системы движений.

## Глава VII

### ДВИЖЕНИЯ ВОКРУГ ОСЕЙ

В движениях вокруг осей удерживают звенья тела или все тело на криволинейных траекториях (или изменяют их кривизну) и (в заданных случаях) ускоряют или замедляют продвижение по траектории. Движения вокруг осей всегда включают в себя вращательное движение, но кроме него могут содержать и радиальное (поступательное) вдоль радиуса к центру или от центра, что изменяет и само вращательное движение.

#### ОБЩИЕ ОСНОВЫ ДВИЖЕНИЙ ВОКРУГ ОСЕЙ

Для твердого тела радиус кривизны траекторий его точек не изменяется и кривизна траектории (отрезка дуги окружности) постоянна. Для системы тел, если она не изменяет конфигурацию, будут такие же условия. Если же система тел деформируется так, что радиусы траекторий точек изменяются, то к вращательному движению добавляется радиальное.

### § 36. Динамика вращательного движения

Рассмотрим последовательно вращательное движение одного звена и системы звеньев тела.

#### 36.1. Механизм вращательного движения звена

*Движение звена тела вокруг оси происходит при наличии цен-*



тростремительного ускорения, вызванного воздействием ускоряющего тела.

В криволинейном движении изменение направления скорости в сторону центра вращения вызвано действием другого тела. Возникает нормальное (радиальное) ускорение, направленное к центру вращения (центростремительное ускорение). Оно вызвано действием силы, имеющей то же направление, — центростремительной силы. Источником этой силы служит другое тело, которое удерживает точки вращающегося тела на дугах окружностей. Оно ограничивает движение, не дает продолжаться инерционному движению по касательной к дуге окружности, заставляет описывать криволинейные траектории. Оно называется поэтому **удерживающим телом**.

Удерживающим телом при движении звена в суставе служит соединенное с ним соседнее звено. Центростремительной силой служит реакция связи со стороны соседнего звена на тягу мышц и суставно-связочного аппарата. Она приложена через этот соединяющий аппарат к вращающемуся звену и заставляет его удерживаться на криволинейных траекториях его точек. Ось вращения звена, связанная с удерживающим телом (другим звеном), представляет собою закрепленную ось.

Вращающееся звено оказывает противодействие реакции удерживающего действия в виде центробежной силы. Она направлена противоположно центростремительной силе, равна ей по величине и приложена к удерживающему звену. Центробежная сила в данном случае реальная сила инерции (система отсчета инерциальная, тело отсчета — неподвижное соседнее звено). Если же систему отсчета связать с самим вращающимся звеном, движущимся ускоренно (неинерциальная система отсчета), то и сила инерции будет рассматриваться как фиктивная; она приложена к ЦМ самого вращающегося звена. Как известно, систему отсчета выбирают в соответствии с поставленной задачей; оба способа описания одного и того же явления в принципе равнозначны.

Величина центростремительного ускорения зависит от скорости и расстояния до оси вращения. С увеличением скорости вращения и кривизны траектории центростремительное ускорение возрастает:

$$a_{\text{ис}} = \frac{v^2}{r}.$$

Центростремительная сила перпендикулярна к направлению линейных скоростей точек звена, поэтому изменить их величину не может. Она изменяет только направление скорости. Изменение же величины скорости при вращении происходит при наличии положительного или отрицательного тангенциального (касательного) ускорения. Его может вызвать только сила (или ее тангенциальная составляющая), перпендикулярная к радиусу (параллельная касательной к траектории в данной точке).

Следовательно, при разборе движения звена вокруг оси необходимо различать силы (или их составляющие), приложенные вдоль радиуса и перпендикулярно к нему. Первые искривляют траекторию, а вторые ускоряют или замедляют вращение.



### 36.2. Изменение вращательного движения звена

*Под действием момента внешней силы (приложенной к звену по касательной к траектории) изменяется вращательное движение звена, увеличивается или уменьшается его угловая скорость.*

Поскольку к любому телу всегда так или иначе приложены тормозящие силы, то изменение движения в сторону большего момента вызывается только разностью между моментами движущих и тормозящих сил.

Момент внешней силы, приложенной к звену, вызывает его угловое ускорение, обратно пропорциональное моменту инерции звена относительно оси вращения:

$$M_z(F_e) = I \cdot \varepsilon,$$

где  $M_z(F_e)$  — момент внешней силы  $E$  относительно оси  $z$ ,  $I$  — момент инерции относительно той же оси,  $\varepsilon$  — угловое ускорение звена.

Внешними силами для звена служат тяги мышц, прикрепленных к нему, реакции соседних звеньев и приложенные к нему силы, внешние для тела человека (например, силы тяжести или инерции отягощений).

Импульс момента силы ( $S_z$ ) вызывает соответствующее изменение угловой скорости звена ( $\omega$ ), следовательно, и его кинетического момента ( $S_z = \Delta I \omega$ ).

Достижение угловой скорости, заданной для звена, зависит от ускоряющего импульса момента внешней силы и момента инерции звена:

$$\Delta \omega = \frac{S_z}{I} = \frac{M_z(F_e)t}{mR_{\text{ш}}^2}.$$

Поскольку момент инерции жесткого звена постоянный, достижение заданной скорости зависит от ускоряющего импульса силы, т. е. от разности моментов движущих и тормозящих сил и времени их приложения. Для большей скорости вращения звена нужно увеличить момент силы тяги движущих мышц и уменьшить момент силы тяги тормозящих.

Следует напомнить, что для суставов тела человека наиболее характерно возвратно-вращательное (колебательное) движение, ограниченное анатомическими условиями. При быстрых движениях мышцы-антагонисты растягиваются силами инерции вращающегося звена, возникающими, когда оно тормозится и останавливается. В мышцах-антагонистах при этом возникают силы упругой деформации, которые останавливают звено и помогают начать возвратное движение. Чем быстрее возвратное движение (торможение звена и разгон его в обратном направлении), тем больше роль сил инерции звена и сил упругой деформации мышц-антагонистов.

### 36.3. Изменение вращательных движений системы звеньев

*Изменение вращения системы звеньев возможно под действием импульсов моментов как внешних сил, так и внутренних, вызывающих радиальное движение.*



Когда гимнаст сохраняет позу (например, в висте на перекладине), тренер может, приложив момент внешней силы (толчком рукой), увеличить угловую скорость тела гимнаста. В этом случае тело гимнаста можно приравнять к твердому телу. Если же гимнаст изменяет позу, то нельзя определить угловую скорость его тела так, как это делается для твердого тела, поскольку угловая скорость твердого тела (отношение линейной скорости любой точки тела, кроме лежащих на оси, к ее расстоянию до оси) для всех его точек одинакова, а при изменении позы линейные скорости разных точек изменяются по-разному и единой угловой скорости, как у твердого тела, не существует. Чтобы все-таки учесть, как изменяются вращательные движения, условно делят тело гимнаста на две равные по весу половины. Находят ЦМ обеих половин тела и соединяют их прямой. Эту линию считают условно продольной осью тела. Приняв ее за линию отсчета, определяют угол ее поворота, а следовательно, и ее угловую скорость как приближенное отражение быстроты изменения положения всего тела относительно оси вращения. Можно принимать за линию отсчета радиус ЦМ тела гимнаста относительно оси вращения. Но это еще менее точно.

Итак, момент внешней силы, приложенной к телу гимнаста, изменяет вращательное движение. Так, при свободных качаниях гимнаста в висте на перекладине, когда он движется вниз, момент силы тяжести тела относительно оси перекладины ускоряет движение. Во время движения вверх момент силы тяжести замедляет движение, так как действует ему навстречу (рис. 68, а).

Если бы не было тормозящего действия силы трения рук о перекладину и сопротивления воздуха, качания продолжались бы без изменения. Действие этих тормозящих сил обуславливает затухающие колебания. Можно описать это явление с точки зрения превращения механической энергии тела гимнаста. При опускании тела из верхнего положения в нижнее потенциальная энергия (энергия положения) превращается в кинетическую (энергию движения); по мере подъема тела вверх кинетическая энергия вновь превращается в потенциальную; часть механической энергии затрачивается на работу против тормозящих сил и рассеивается.

Подводя энергию в каждом колебании, можно сделать колебания незатухающими и, более того, увеличить энергию по механизму резонанса (подвод энергии больший, чем рассеивание). Одним из

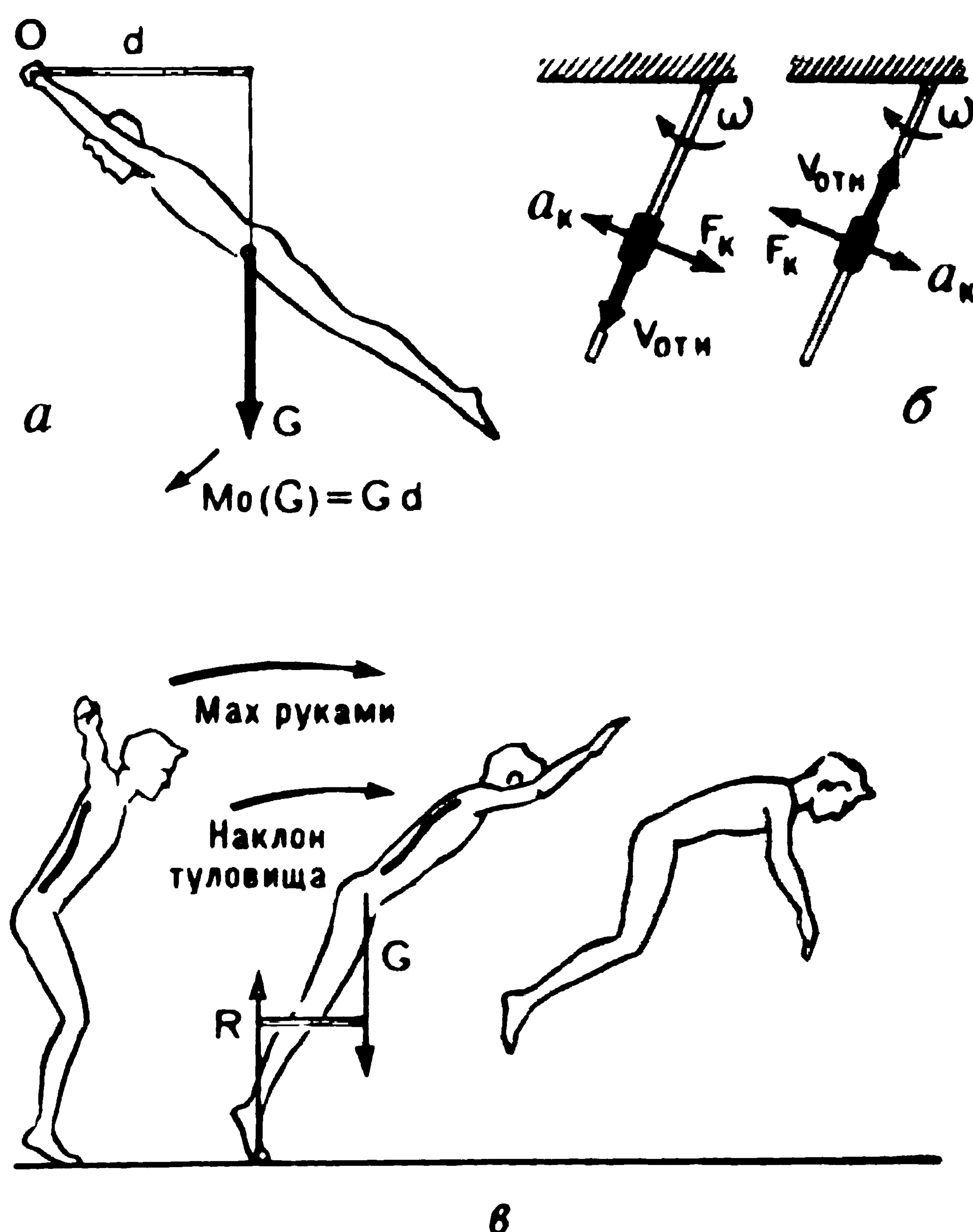


Рис. 68.

Управление движениями вокруг осей при опоре:

а — приложение момента силы тяжести; б — использование силы Корнольса; в — создание начального вращения (от опоры)



источников такого подвода энергии служит работа мышц по приближению звеньев тела к оси вращения. Это вызывает уменьшение радиуса вращения и радиуса инерции, а следовательно, и момента инерции тела гимнаста.

Рассмотрим влияние радиального движения в системе звеньев на ее вращение (рис. 68, б). Представим себе движение тела гимнаста как составное движение: к вращательному (переносному) движению ( $\omega$ ) добавляется движение частей тела (например, сгибание ног) вдоль радиуса в сторону оси вращения (относительное движение —  $v_{отн.}$ ). При этом линейные скорости частей тела, приблизившихся к оси, станут меньше: они будут иметь отрицательное ускорение (кориолисово —  $a_k$ , т. е. ускорение, направленное против вращения. При таком ускорении приблизившихся к оси частей тела возникают их силы инерции Кориолиса ( $F_k$ ), направленные в этом случае по ходу вращательного движения. В неинерциальной системе отсчета (связанной с телом гимнаста, имеющим ускорение) они, будучи фиктивными силами инерции, приложены к самому ускоряющемуся телу, т. е. к частям тела гимнаста, приближающимся к оси. Так объясняется влияние радиального движения на увеличение скорости вращательного посредством приложения момента силы инерции Кориолиса. Радиальное движение в сторону от оси замедляет вращение.

Изменение вращательного движения системы тел без приложения внешней силы можно объяснить также основываясь на законе сохранения кинетического момента<sup>1</sup>. Приближая части системы тел (тело гимнаста) внутренними силами (тяги мышц) к оси вращения, можно уменьшить радиус инерции, а значит, и момент инерции. Если в это время никакие внешние силы не изменяют кинетического момента ( $I\omega$ ), например в движении без опоры, то во сколько раз уменьшится момент инерции ( $I$ ), во столько же раз увеличится угловая скорость ( $\omega$ ).

Итак, вращательное движение системы тел может быть изменено как внешними, так и внутренними силами.

## § 37. Управление движениями вокруг осей

Способы управления движениями вокруг осей всей биомеханической системы в целом и ее частей делятся на две группы: а) с изменением кинетического момента системы и б) с сохранением кинетического момента системы.

### 37.1. Управление движениями вокруг осей с изменением кинетического момента системы

*Управление движениями вокруг осей с изменением кинетического момента биомеханической системы осуществляется моментами внешних сил, для чего нужен их источник — внешнее физическое тело.*

<sup>1</sup> Закон сохранения кинетического момента гласит: если сумма моментов внешних сил, приложенных к телу, равна нулю, то кинетический момент тела сохраняется неизменным.



Вращательное движение биомеханической системы можно изменить моментом внешней силы, когда тело сохраняет позу. Например, тренер, раскачивая тело гимнаста в висе на перекладине или страхуя в конце сальто, своей мышечной силой увеличивает или уменьшает вращение. Сам гимнаст напряжением мышц пассивно сохраняет позу.

У биомеханической системы есть еще возможность изменять вращение, изменяя плечо внешней силы, благодаря движениям звеньев тела. Например, если гимнаст выполняет размахивания на перекладине, сила тяжести (постоянная) его тела как маятника совершает положительную работу (при движении вниз в вертикальной плоскости) или отрицательную (при движении из низшего положения вверх). Чтобы увеличить механическую энергию тела (маятника), надо сделать отрицательную работу меньше положительной. Для этого при подъеме вверх следует уменьшить момент силы тяжести. Гимнаст, притягиваясь к перекладине, укорачивает маятник и тем самым уменьшает плечо силы тяжести. Таким образом уменьшается тормозящее действие силы тяжести при движении вверх.

Если же при движении вниз увеличивать плечо силы тяжести, то момент силы тяжести станет больше. Но с удлинением маятника увеличивается его момент инерции — пропорционально квадрату радиуса инерции. Вследствие этого нарастание скорости станет не больше, а меньше. При движении же вверх, укорачивая маятник, уменьшают и момент силы тяжести, и момент инерции; и то и другое несколько замедляет падение скорости. С уменьшением приведенной длины маятника<sup>1</sup> уменьшается период и увеличивается скорость колебаний.

При повторных качательных движениях можно получить резонансное накопление энергии и увеличить скорость колебаний.

Наконец, спортсмен может активно действовать (отталкиваться или притягиваться), создавая момент внешней силы. Например, несимметрично отталкиваясь ногами от опоры или руками от перекладины, можно вызвать вращение вокруг продольной оси тела.

Итак, управление движениями вокруг осей с изменением кинетического момента системы достигается:

1) приложением внешней силы (импульса момента силы) — ускорение или замедление вращения всего тела при сохранении позы;

2) изменением условий действия внешней силы при закрепленной оси (приближением к ней и отдалением от нее) — ускорение или замедление вращения всего тела с изменением позы;

3) активным созданием момента внешней силы (отталкиванием от опоры или притягиванием к ней) — ускорение или замедление вращения всего тела при изменении позы.

Во всех случаях внешние силы приложены к биомеханической системе и изменяют ее движение. Все эти способы применимы при опоре, а первый — и в полете (как в случае начального вращения, так и без него).

---

<sup>1</sup> Приведенная длина физического маятника (твердого тела, качающегося под действием силы тяжести) равна длине математического маятника (материальная точка на нити), имеющего такой же период качаний.



## 37.2. Управление движениями вокруг осей с сохранением кинетического момента системы

*Управление движениями вокруг осей с сохранением кинетического момента биомеханической системы осуществляется внутренними силами посредством встречных движений.*

Если тягой мышц вызвать вращательное движение одной части системы, то остальная часть ее начнет вращаться в противоположную сторону (встречные движения). При этом приращения кинетических моментов обеих вращающихся частей равны друг другу по модулю и противоположны по знаку. Таким образом, в сумме кинетический момент всей системы сохранится неизменным. Это возможно, если никакие силы не мешают встречным движениям и не изменяют кинетического момента системы. Такие условия существуют в полете без опоры. Любые оси вращения всего тела проходят через ЦМ биомеханической системы (свободные оси).

Способы управления движениями вокруг осей, основанные на создании встречных движений частей системы, можно разделить на две группы: простые вращения—вокруг одной оси и сложные—вокруг нескольких. Встречное простое вращение вокруг одной оси представляет собой скручивание тела и его раскручивание вокруг продольной оси. Естественно, что эти движения имеют анатомически ограниченный размах. Ориентация в пространстве каждой из поворачивающихся частей изменяется, но общая ориентация всей системы в целом обычно сохраняется. Такие движения применяются, например, в спортивных играх (броски мяча в прыжке в баскетболе, игра в ручной мяч).

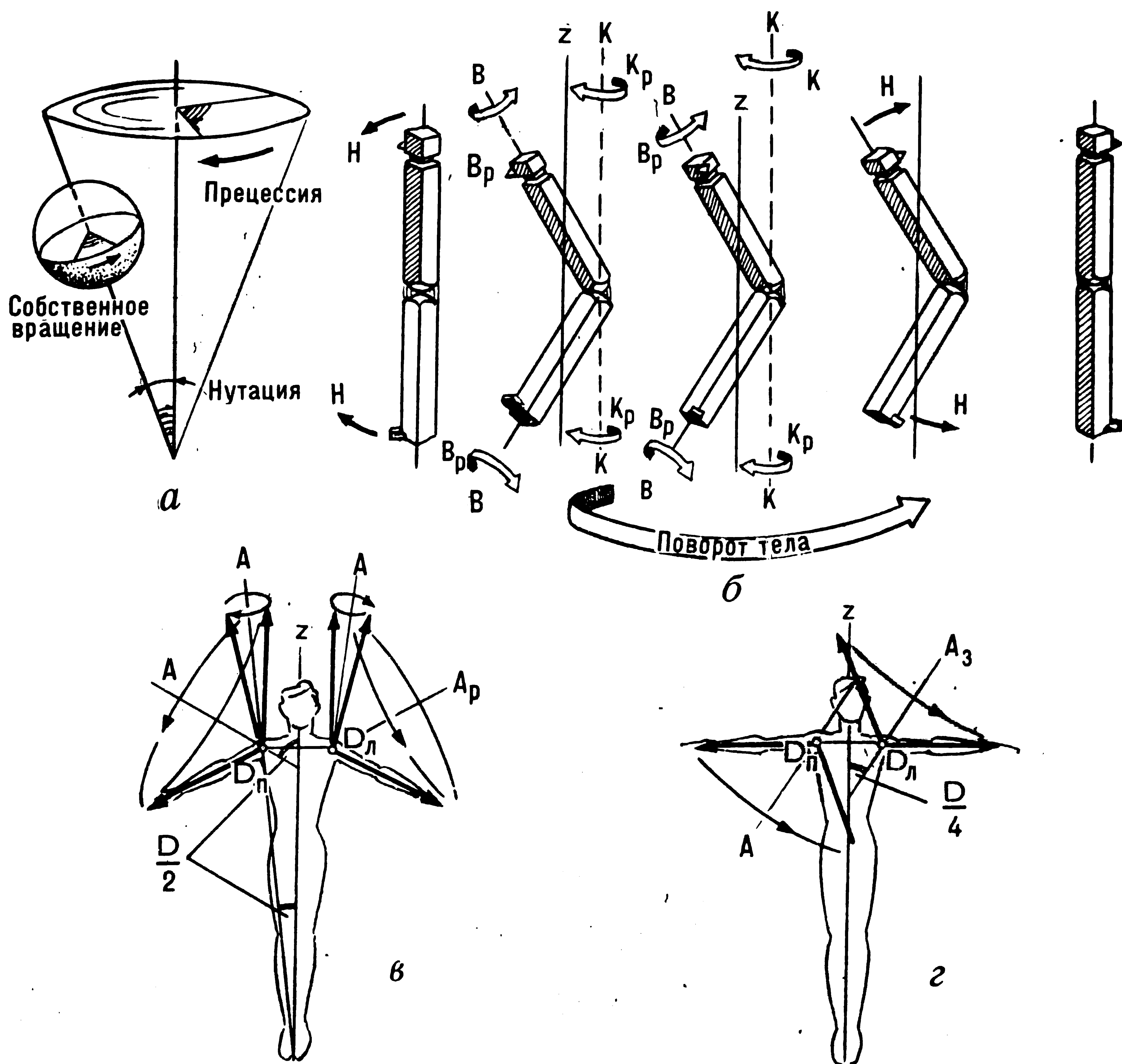
В соответствии с законом сохранения кинетического момента можно влиять на скорость вращения, изменяя момент инерции системы. Можно уменьшить этот момент (группирование) внутренними силами, изменяя позу. Работа, совершенная ими, ускоряет вращения вокруг ЦМ. Здесь также можно заметить действие кориолисовых сил инерции при уменьшении радиуса вращения. Если внутренними силами отдалить тело от оси вращения (разгруппирование), то вращение замедлится прямо пропорционально увеличению момента инерции.

Таким образом, в свободной (изолированной) системе внутренние силы могут изменять быстроту вращения всей системы, ускоряя или замедляя его. В виду того что угловая скорость изменяется в зависимости от изменения квадрата радиуса инерции, даже небольшое приближение звеньев тела к оси или отдаление от нее приводит к заметному изменению скорости вращения. Но следует подчеркнуть, что при таком способе управления движениями вокруг осей вращательное движение может быть только изменено, но не может быть создано. Этот способ используется при исполнении сальто, когда ускоряется и замедляется созданное при опоре начальное вращение.

Использовать встречные движения можно и без предварительного вращения системы. Это единственный путь изменения ориентации всей системы без опоры, без приложения моментов внешней силы и без начального вращения.



Вращение свободного тела в полете происходит в виде сложного вращения вокруг трех осей. Например, волчок (рис. 69, а) вращается, во-первых, вокруг собственной оси (собственное вращение); во-вторых, ось его описывает кривую вокруг другой оси (прецессия), и, наконец, в-третьих, угол между этими двумя осями (собственного вращения и прецессии) изменяется — эти оси то сближаются, то отдаляются (нутация). Так сложно вращается тело, не имеющее закрепленной оси<sup>1</sup>. Когда вращение непродолжительно при относительно небольшой скорости, заметно только собственное вращение, а прецессия и нутация могут быть незаметны.



**Рис. 69.**

Управление движениями вокруг осей без опоры:

а — собственное вращение, прецессия и нутация; б — поворот тела изгибаниями ( $Z$  — ось поворота;  $K$  — ось кружений,  $B$  — ось вращений,  $H$  — направление нутации,  $B_p$  — направление вращений,  $K_p$  — направление кружений (по В. Т. Назарову); движения рук: в — симметричные, г — асимметричные ( $A, A_1, A_2, A_3$  — оси движений рук (по С. Д. Устинову)

<sup>1</sup> Положение осей вращения (собственное вращение), кружения (прецессия — конусообразное движение оси собственного вращения) и нутации (изгибание тела относительно его продольной оси) определяется углами Эйлера.



В сложных вращательных движениях человека в полете сначала совершается встречная нутация частей тела — тело сгибается вперед, или назад, или в боковую сторону (рис. 69, б). Далее происходит одновременное собственное вращение верхней и нижней частей тела в поясничном отделе позвоночника в сторону одноименных конечностей и их прецессия (круговое движение): оси обеих частей системы описывают конические поверхности, но в противоположных направлениях. Одновременного вращения всей системы не произойдет. Траектории всех ее точек не будут окружностями, центры которых лежат на одной оси. Но в результате встречных круговых движений изменится ориентация системы в пространстве (как после вращения), произойдет ее поворот. После заданной переориентации всего тела происходит снова нутация — тело выпрямляется. Кинетические моменты вращающихся частей в этом сложном вращении взаимно уравниваются, поэтому кинетический момент всей системы от этих вращений не изменяется. Тело же человека в целом, как и требуется, изменяет ориентацию в заданную сторону. Источником сил, вызывающих вращение частей тела друг относительно друга, служат мышцы, соединяющие их. Если встречной нутации нет (тело выпрямлено), то верхние и нижние части тела будут вращаться только вокруг одной продольной оси в сторону разноименных конечностей (скручивание тела).

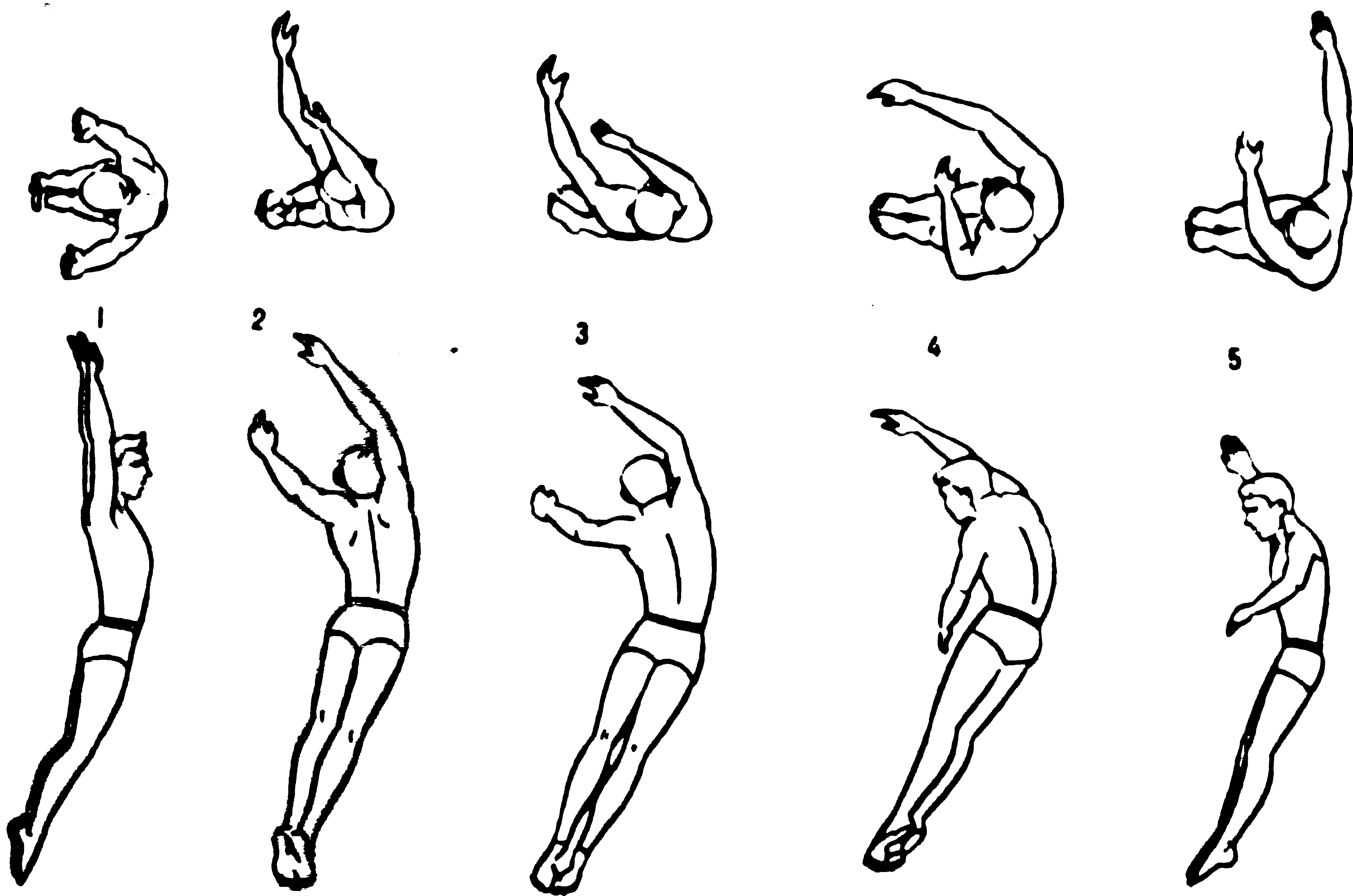


Рис. 70.

Поворот тела изгибаниями туловища и асимметричными движениями рук (по С. Д. Устинову)



Кроме изгибаний тела, обеспечивающих поворот его в полете вокруг продольной оси (пируэт), используются движения руками, усиливающие эффект поворота. Различают движения симметричные (рис. 69, в) (во встречных направлениях: например, правая вперед — вниз — назад; а левая назад — вниз — вперед) и асимметричные (рис. 69, г) (в одном направлении: например, влево — вниз). Хотя асимметричные движения анатомически ограничены и поэтому однократны, в то время как симметричные не ограничены и могут повторяться многократно, первые более выгодны, так как обеспечивают больший поворот (по пируэту).

В практике при сочетании поворотов вокруг поперечной и продольной осей тела в полете всегда используют и изгибания тела, и движения руками (рис. 70).

Итак, управление движениями вокруг осей с сохранением кинетического момента системы достигается:

1) скручиванием и раскручиванием тела вокруг продольной оси (одновременный встречный поворот) — изменение ориентации частей тела друг относительно друга в пространстве;

2) группированием и разгруппированием (приближение частей системы к свободной оси и отдаление от нее) — ускорение и замедление вращения всего тела;

3) изгибаниями туловища и круговыми движениями конечностей — создание сложного поворота всего тела вокруг нескольких осей.

В конкретных задачах и условиях их выполнения очень часто применяются сочетания разных способов изменения вращения биомеханической системы.

### **ПРИМЕРЫ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ**

Вращательными упражнениями в гимнастике называют упражнения, в которых движения вокруг оси занимают главное место, когда требуется управление этими движениями

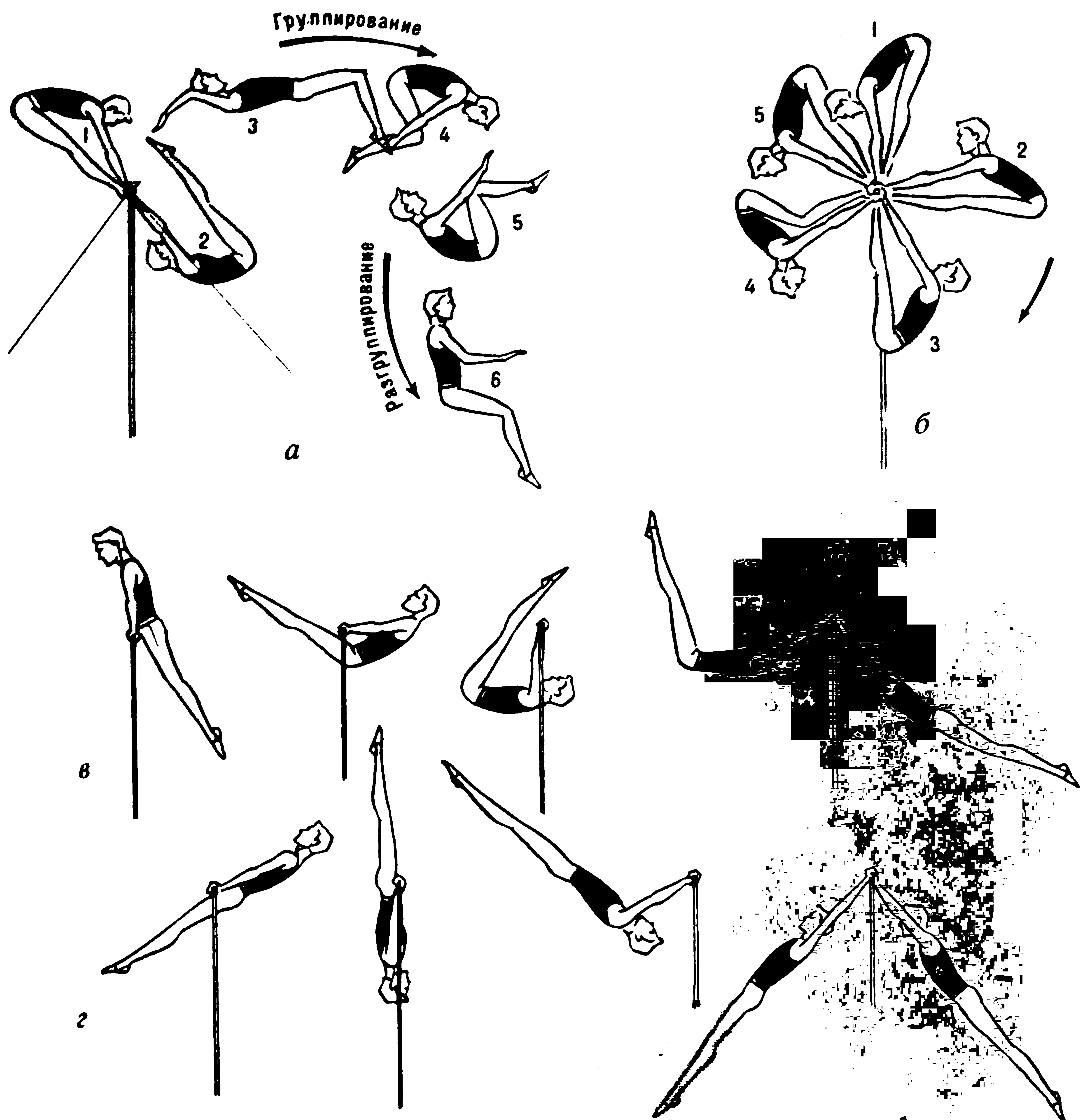
Во вращательных упражнениях существенно, исполняются ли они без опоры, вокруг свободных осей или же при опоре (на снаряде, на полу), когда имеется закрепленная ось.

### **§ 38. Вращательные упражнения без опоры**

В случае вращения вокруг свободных осей внешнего удерживающего тела не существует. Звенья вращающегося тела человека удерживаются на криволинейных траекториях внутренними связями. При этом центробежные силы одних частей служат центростремительными для других, движущихся по другую сторону от оси. Ось вращения всего тела поэтому неизменно проходит через ЦМ тела.

**Соскок дугой с перекладины с сальто вперед** (рис. 71, а). Из положения упора на перекладине стоя согнувшись гимнаст под действием силы тяжести совершает движение вокруг оси перекладины назад. Из позы 2, резко разгибая ноги в тазобедренных суставах и сгибая в коленных, гимнаст, отпуская перекладину, переходит в позу 3. Вращательное движение вокруг свободной оси, проходящей через





**Рис. 71.**

**Вращательные упражнения:**

*а* — соскок дугой с перекладины с сальто, *б* — оборот назад из упора стоя согнувшись; *в* и *г* — подъем разгибом на перекладине

ЦМ, созданное к моменту отрыва от перекладины, резко ускоряется благодаря энергичному группированию — сгибанию тела вперед. Части тела приближаются к оси вращения, уменьшают момент инерции относительно поперечной оси. По закону сохранения кинетического момента вращение до позы 5 происходит быстрее с нарастанием скорости. Начиная с позы 5 гимнаст распрямляет тело, момент инерции относительно поперечной оси увеличивается, и вращение вокруг нее перед приземлением замедляется. В упражнении использованы: начальное вращение с приложением внешней силы (увеличение реакции перекладины при нажиме на нее), а также группирование и разгруппирование в полете.



**Прыжок в воду полтора винта.** При отталкивании от пружинящей опоры тело получает начальное вращение вокруг его поперечной оси. Далее благодаря изгибаниям туловища создается сложное вращение, в результате которого при неподвижном положении рук изменяется ориентация тела (из положения лицом вверх тело переходит в положение лицом вниз). Группирование относительно поперечной оси тела вызывает ускорение вращения относительно нее, которое перед входом в воду прекращается разгруппированием.

### **§ 39. Вращательные упражнения при опоре**

Наличие связи с опорой создает условия для вращательного движения. Реакция опоры удерживающего тела служит центробежной силой.

**Оборот назад из упора стоя согнувшись** (рис. 71, б). В этом упражнении при сгибании ног тело приближается к оси вращения, при разгибании — отдаляется. Первую половину оборота гимнаст выполняет под действием момента силы тяжести. Момент инерции тела относительно перекладины за это время не изменяется. Потенциальная энергия (максимальная в позе 1) переходит в кинетическую (максимальная в позе 3). Далее гимнаст сгибает ноги в коленях (от позы 3 до позы 4). В это время уменьшаются тормозящий момент силы тяжести и момент инерции тела, появляются кориолисовы силы инерции (с увеличением опорной реакции перекладины). Все это восполняет потери энергии (сопротивление воздуха, трение о гриф перекладины). В последние моменты (к позе 1) гимнаст, выпрямляя ноги, совершает еще работу по подъему ЦМ в прежнее наиболее высокое положение. В этом упражнении использованы: внешняя сила (тяжести) с превращением энергии потенциальной в кинетическую и, наоборот, возмещение потерянной энергии силами инерции Кориолиса посредством приближения к оси вращения за счет работы мышц, а также преодолевающая работа мышц ног (в конце упражнения).

**Подъем разгибом на перекладине.** Это упражнение выполняется из положения виса в положение упора. В конце маха вперед гимнаст сгибается в тазобедренных суставах, приближая ноги к оси вращения. При этом уменьшается момент инерции и движение тела, происходившее под действием момента силы тяжести, становится быстрее (рис. 71, в).

Существует другой способ приближения тела к оси вращения — разгибанием рук в плечевых суставах (тело остается выпрямленным, рис. 71, г). В результате этого движения гимнаст начинает подъем в упор в противоположную сторону со скоростью, достаточной для завершения упражнения в положении упора на перекладине или стойки на кистях.

При начальных движениях используется изменение радиуса вращения (радиальное движение), которое, вызывая силы Кориолиса, обеспечивает увеличение размаха движений.

Во втором варианте подъема разгибом (без управляющих движений в тазобедренных суставах) основная работа приходится на долю



мышц плечевых суставов. Внешней силой, изменяющей траекторию ЦМ тела гимнаста, служит опорная реакция перекладины, вызванная нажимом рук на нее при напряжении мышц плечевых суставов.

## Глава VIII

### СОХРАНЕНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА

Двигательная задача при сохранении и изменении положения тела заключается в обеспечении равновесия без перемены опоры, как при постоянной позе, так при ее изменении (движения на месте).

#### РАВНОВЕСИЕ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

В физических упражнениях человеку нередко бывает необходимо сохранять неподвижное положение тела: исходные (стартовые и др.), конечные (фиксирование штанги после ее поднятия и т. п.), промежуточные (упор углом на кольцах и др.). Во всех таких случаях тело человека как биомеханическая система находится в равновесии. В равновесии могут находиться и внешние тела, связанные с человеком, сохраняющим положение (например, штанга, партнер в акробатике).

#### § 40. Условия равновесия тела и системы тел

Положение тела человека определяется: 1) позой (взаимным расположением звеньев тела), 2) местоположением, 3) ориентацией относительно системы отсчета и 4) отношением к опоре. Для сохранения положения тела нужно закрепить звенья в суставах и не допускать, чтобы внешние силы изменяли его местоположение, ориентацию в пространстве (исключить перемещения и повороты) и связь с опорой. Названные задачи решаются посредством уравнивания действующих на человека сил и моментов сил. Основу сохранения положения тела составляет уравнивание сил.

##### 40.1. Силы, уравниваемые при сохранении положения

*К биомеханической системе могут быть приложены силы тяжести, реакции опоры, веса, мышечные тяги, а также усилия партнера или противника и др. Все силы могут действовать как возмущающие (нарушающие положение) и как уравнивающие (сохраняющие положение), в зависимости от положения звеньев тела относительно их опоры.*

Силы тяжести (дистантные) приложены к ЦМ звеньев и ЦМ тела (рис. 72, а). В зависимости от конкретных особенностей положения тела они могут либо быть направленными на изменение положения, либо уравнивать другие возмущающие (отклоняющие, опрокидывающие) силы.

Реакции опоры как противодействие опоры действию на нее тела,



чаще всего совместного с другими силами, уравнивают опорные звенья, закрепляют их неподвижно.

Вес звеньев тела (контактные силы) приложен внутри тела человека к соседним звеньям, как следствие земного тяготения, действия сил тяжести.

Силы мышечной тяги при сохранении положения обычно уравнивают своими моментами моменты силы тяжести соответствующих звеньев и веса связанных с ними других звеньев. Эти силы могут и изменять положение тела, и восстанавливать его. Силы тяги мышц сохраняют позы, фиксируя положение звеньев в суставах. Именно управляя мышечными силами, человек сохраняет положение своего тела.

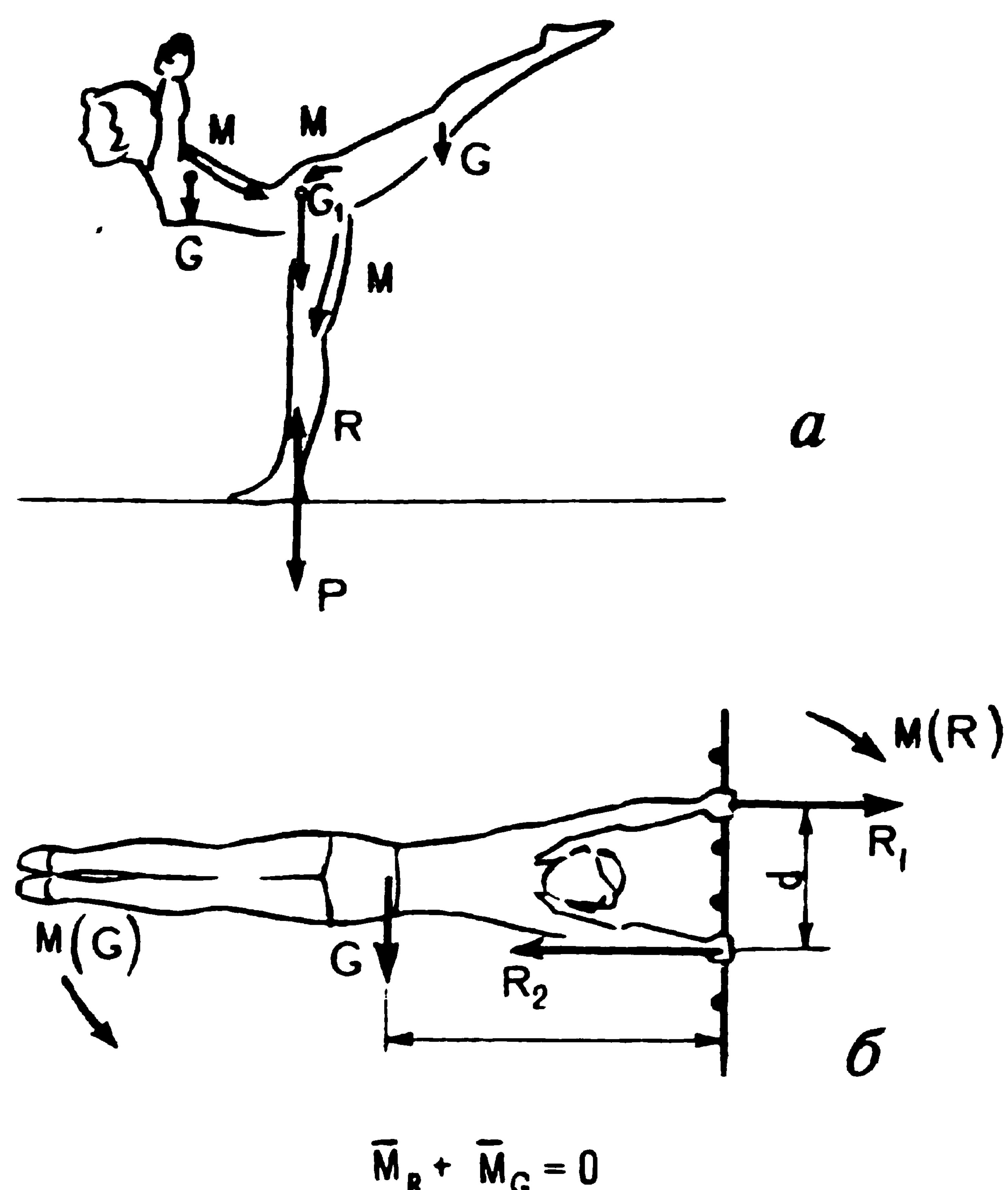


Рис. 72.

Условия равновесия — равенство нулю: а — главного вектора, б — главного момента

## 40.2. Условия уравнивания действия сил

*Для уравнивания действия на тело всех сил необходимо, чтобы главный вектор и главный момент внешних сил были равны нулю, а все внутренние силы обеспечивали сохранение позы.*

Все внешние силы можно условно привести к ЦМ тела (присоединяя соответствующие моменты силы). Равнодействующая сил, приложенных к ЦМ, — главный вектор — обуславливает его линейное ускорение. Если главный вектор равен нулю (рис. 72, а), то ЦМ не изменит своей скорости (а если она равна нулю, то и своего положения).

Сумма всех моментов внешних сил, приложенных к телу, дает главный момент. Он обуславливает угловое ускорение тела. Если главный момент и главный вектор равны нулю, то тело не изменяет своего положения (рис. 72, б). Иначе говоря, в этом случае внешние силы не могут ни сдвинуть, ни повернуть тело — его положение сохранится неизменным.

В случае, если до приложения рассматриваемых (уравновешенных) сил и их моментов тело двигалось, естественно, они не изменяют этого движения. Это частный случай уравнивания сил, но не сохранения положения. Так, например, можно сохранить позу, но не положение в движении без опоры (в полете) или на опоре (спуск в санном спорте).

Следует подчеркнуть, что для сохранения положения всего тела необходимо сохранение его позы (как бы отверждение тела). Но не всегда сохранение позы достаточно для сохранения положения всего тела. Так называемая динамическая осанка (см. стр. 163) при выполнении упражнений есть сохранение в основном позы групп звеньев, но вовсе не положения тела в целом.



### 40.3. Виды равновесия тела и его устойчивость

*Вид равновесия тела определяется по действию силы тяжести в случае сколь угодно малого отклонения в положении тела: а) устойчивое — возвращение тела в прежнее положение при любом отклонении, б) ограниченно-устойчивое — возвращение тела в прежнее положение только при отклонении в определенных границах, в) неустойчивое — обязательное опрокидывание при малейшем отклонении.*

Чтобы определить вид равновесия тела, надо рассмотреть действие сил тяжести при сколь угодно малом отклонении. Если при таком отклонении тела его ЦМ поднимается вверх, то потенциальная энергия тела (в поле тяготения Земли) увеличивается и сила тяжести образует момент, направленный на восстановление положения, — это устойчивое равновесие. Оно характерно для верхней опоры, когда тело

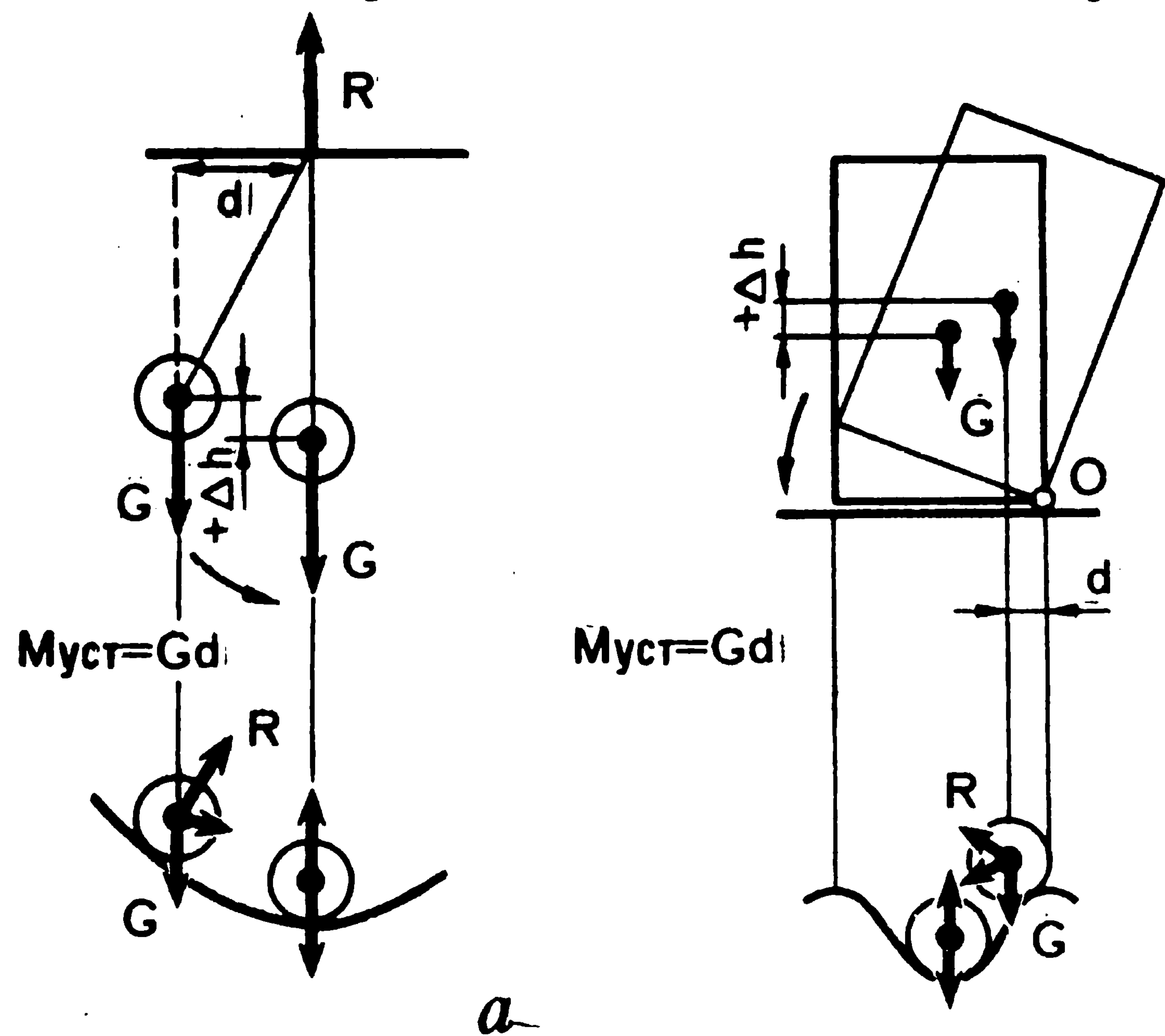


Рис. 73.

Виды равновесия:

а — устойчивое, б — ограниченно-устойчивое

к ней подвешено (рис. 73, а). При нижней опоре тело можно отклонять лишь до тех пор, пока линия тяжести (или проекция ЦМ на горизонтальную плоскость) не дойдет до границы площади опоры. До этой границы сила тяжести образует момент устойчивости, который может восстановить положение равновесия. До этой границы по мере отклонения тела его ЦМ поднимается вверх, что требует затрат работы, которая увеличивает энергию тела. Если же продолжать опрокидывать тело, перейдя эту границу, потенциальная энергия начнет уменьшаться (преодоление «потенциального барьера»), момент силы

тяжести станет уже опрокидывающим моментом. В пределах «потенциального барьера» равновесие ограничено-устойчивое (рис. 73, б).

Неустойчивое же равновесие встречается только при нижней опоре в виде точки опоры или линии. Достаточно отклонить тело в любую сторону, как его ЦМ опускается ниже, потенциальная энергия уменьшается, момент силы тяжести оказывается опрокидывающим. Такого равновесия в природе не существует — это абстрактная модель. В реальных условиях малейшее отклонение прекращает такое равновесие.

Следует упомянуть о безразличном равновесии; при любом отклонении ЦМ не меняет высоты расположения, момента силы тяжести не возникает (шар, цилиндр, круговой конус на горизонтальной поверхности). У человека такое равновесие может быть только в невесомости (в космосе, под водой). Таким образом, неустойчивого и безразличного равновесия для тела человека практически не существует. Равновесие устойчивое наблюдается только при верхней опоре (в висах), а ограниченно-устойчивое — при нижней опоре.

Степень устойчивости тела человека в разных положениях характеризуется его статическим показателем — коэффициентом ус-



тойчивости (способностью сопротивляться нарушению устойчивости в определенных направлениях), а также динамическим — углом устойчивости (способностью восстанавливать положение).

Устойчивость определяют для ограниченно-устойчивого вида равновесия. При этом не следует смешивать вид равновесия со степенью устойчивости. Вид равновесия определяет лишь основы сохранения положения. Показатели же устойчивости определяют меру возможностей сохранения положения.

Статический показатель устойчивости определяется отношением двух моментов силы: момента устойчивости к моменту опрокидывания. Это соотношение называется коэффициентом устойчивости. Момент устойчивости (предельный) равен произведению силы тяжести тела на ее плечо относительно линии опрокидывания в самом начале отклонения от положения покоя (рис. 74, а).

$$K_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{опр}} = \frac{Gd}{F_{опр}h}$$

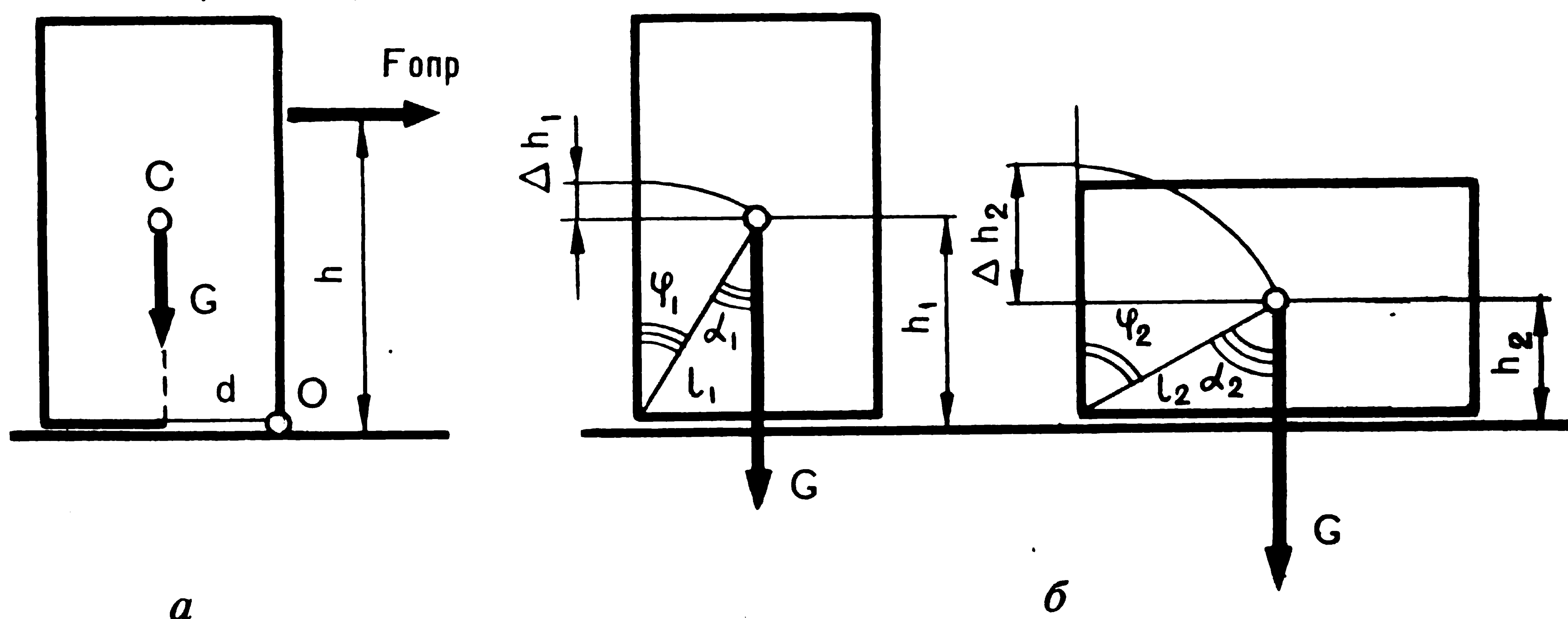


Рис. 74.

Показатели устойчивости твердого тела:

а — коэффициент устойчивости, б — угол устойчивости

По мере увеличения отклонения плечо силы тяжести укорачивается и момент устойчивости становится меньше. Момент опрокидывания равен произведению опрокидывающей силы на ее плечо относительно той же линии опрокидывания. Когда коэффициент устойчивости больше единицы, тело не опрокинуть. Он характеризует способность тела своей силой тяжести сопротивляться опрокидыванию в данных условиях.

Динамический показатель устойчивости определяется углом устойчивости. Угол устойчивости образован линией действия силы тяжести и прямой, соединяющей центр тяжести с соответствующим краем площади опоры (рис. 74, б). Физический смысл угла устойчивости заключается в следующем. Чтобы отклонить тело до положения, когда его ЦМ окажется над линией опрокидывания (граничное положение тела над вершиной потенциального барьера) и возникнет неустойчивое равновесие, нужно повернуть его в соответ-



ствующей вертикальной плоскости на определенный угол ( $\phi$ ). Если ЦМ тела расположен ниже, а его проекция дальше от края опоры, то момент устойчивости восстановит положение на большем пути отклонения, запас возможностей для восстановления положения больше, степень устойчивости больше. Угол устойчивости показывает, в каких пределах еще действует момент устойчивости.

Статический и динамический показатели устойчивости в полной мере применимы для оценки положения только твердого тела или тела человека, когда поза его совершенно неизменна. Для человека (как биомеханической системы) при оценке устойчивости положения надо учитывать еще ряд обстоятельств. Во-первых, поверхность опоры почти всегда больше площади эффективной опоры. Это значит, что линия опрокидывания всегда расположена внутри границы поверхности опоры. Мягкие ткани и недостаточно сильные мышцы не могут уравновесить нагрузку, и опрокидывание будет раньше, чем линия тяжести пересечет край опорной поверхности. Во-вторых, тело человека при попытке опрокидывания чаще всего не сохраняет позы, а изменяет свою конфигурацию, его звенья перемещаются в тех или иных суставах. Значит, показатели устойчивости твердого тела в применении к телу человека дают возможность только в самой общей форме оценить механические условия его устойчивости.

Следует заметить, что здесь рассматривались только условия равновесия тела, находящегося под действием силы тяжести. При

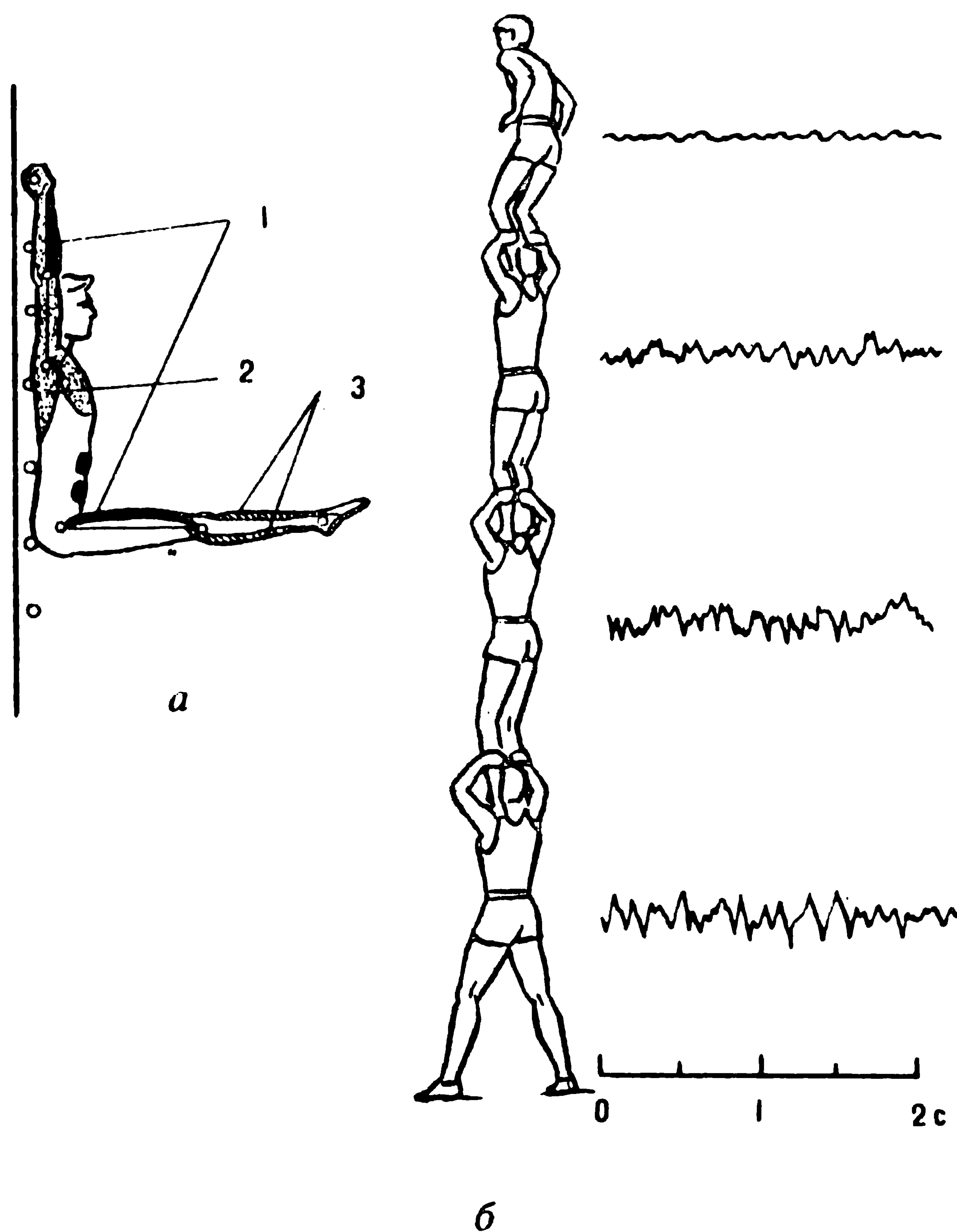
сохранении положения тела человека приходится уравнивать не только силу тяжести, но и многие другие силы. С точки зрения задачи уравнивания сил можно выделить три вида статической работы мышц (рис. 75, а):

1) удерживающая работа — против момента силы тяжести; моментами сил тяги мышц уравновешены моменты силы тяжести звеньев;

2) укрепляющая работа — против сил тяжести, действующих на разрыв; силы мышечной тяги укрепляют сустав, принимают на себя нагрузку;

3) фиксирующая работа — против сил тяги мышц-антагонистов и других сил; силы мышечной тяги лишают звено возможностей движения, действуя друг против друга по направлению, но совместно — по задаче.

С точки зрения механики это одинаковые случаи — уравнивание



**Рис. 75.**

Сохранение положения тела:

а — виды статической работы мышц: 1 — удерживающая, 2 — укрепляющая, 3 — фиксирующая; б — равновесие колебательного типа в колонне акробатов (по В. Н. Болобану)



сил. С точки зрения же биомеханики здесь имеется качественное различие в двигательной задаче и в управлении мышцами при ее решении.

## **§ 41. Сохранение и восстановление положения тела человека**

Человек может не только сохранять равновесие, но и восстанавливать его в случаях нарушения. Отличие равновесия биомеханических систем от равновесия твердых физических тел заключается не в особых законах механики для живых систем, а в более сложном использовании тех же законов из-за особенностей живых систем.

### **41.1. Условия устойчивости тела человека**

*Устойчивость тела человека определяется его возможностями активно уравнивать возмущающие силы, останавливать начинающееся отклонение и восстанавливать положение.*

Уравнивание возмущающих сил в неживых системах происходит только пассивно, а в живых организмах — главным образом активно. Уравнивающие силы могут действовать как собственно уравнивающие, а также как останавливающие отклонение и восстанавливающие положение.

Уравнивание возмущающих сил, как уже говорилось, происходит при равенстве нулю главного вектора и главного момента всех внешних сил. Силы тяги мышц (уравнивающие силы) никогда не бывают постоянными. Это зависит от не полностью упорядоченного включения и выключения групп мышечных волокон при напряжении мышц; сюда присоединяются и реакции на отклонения возникшие по этой причине. В связи с этим устойчивость тела человека характеризуется равновесием колебательного типа (рис. 75, б).

Поскольку человек может использовать для сохранения положения тела только площадь эффективной опоры, то ей соответствует находящаяся над ней зона сохранения положения. Человек может расположить ЦМ своего тела в любом месте этой зоны и сохранять положение. Величина зоны сохранения положения зависит от физических сил человека (возможности сохранения позы) и уровня его технической подготовленности (навык сохранения положения). В пределах этой зоны он может остановить начавшееся отклонение.

Внутри зоны сохранения положения можно выделить меньшую — зону положения ЦМ тела — оптимальную. В пределах ее человек лучше всего сохраняет требуемое положение. Когда колебания тела выводят ЦМ из оптимальной зоны, устойчивость еще достаточная, но требует более значительных усилий.

И лишь когда колебания тела выведут ЦМ тела за пределы зоны сохранения положения, наступает опрокидывание. Механическая система уже не может в этом случае сама под действием только силы тяжести восстановить положение. Без дополнительного внешнего воздействия падение неизбежно. Человек, стремясь сохранить положение (даже утратив равновесие), с помощью активных действий еще



может восстановить положение в известных пределах отклонения. Зона восстановления положения — это область, в которой уже невозможно статическое равновесие, но из которой человек еще способен активными действиями вернуться в заданное положение.

Размеры всех зон (оптимальной, зоны сохранения и зоны восстановления положения) индивидуально очень различны. Они зависят от уровня развития физических качеств, двигательных навыков, физиче-

ского и эмоционального состояния спортсмена. Устойчивость тела, конечно, зависит от механических условий равновесия тела, но определяется главным образом другими факторами.

Так, при стойке на руках на плоской горизонтальной опоре зона сохранения равновесия в переднезаднем направлении составляет всего 45—65% от размеров площади опоры в этом направлении.

При упражнениях на снарядах с использованием хвата имеют место удерживающие связи, создаются условия иные, чем при не удерживающей связи (на опоре). При стойке на руках и стоялках (поперек), при удерживающей опоре, зона сохранения равновесия в том же направлении достигает 110—150% от размеров площади опоры (рис. 76). Моменту силы тяжести тела противодействует момент, образованный захватом кистью опорного снаряда. Эти данные значи-

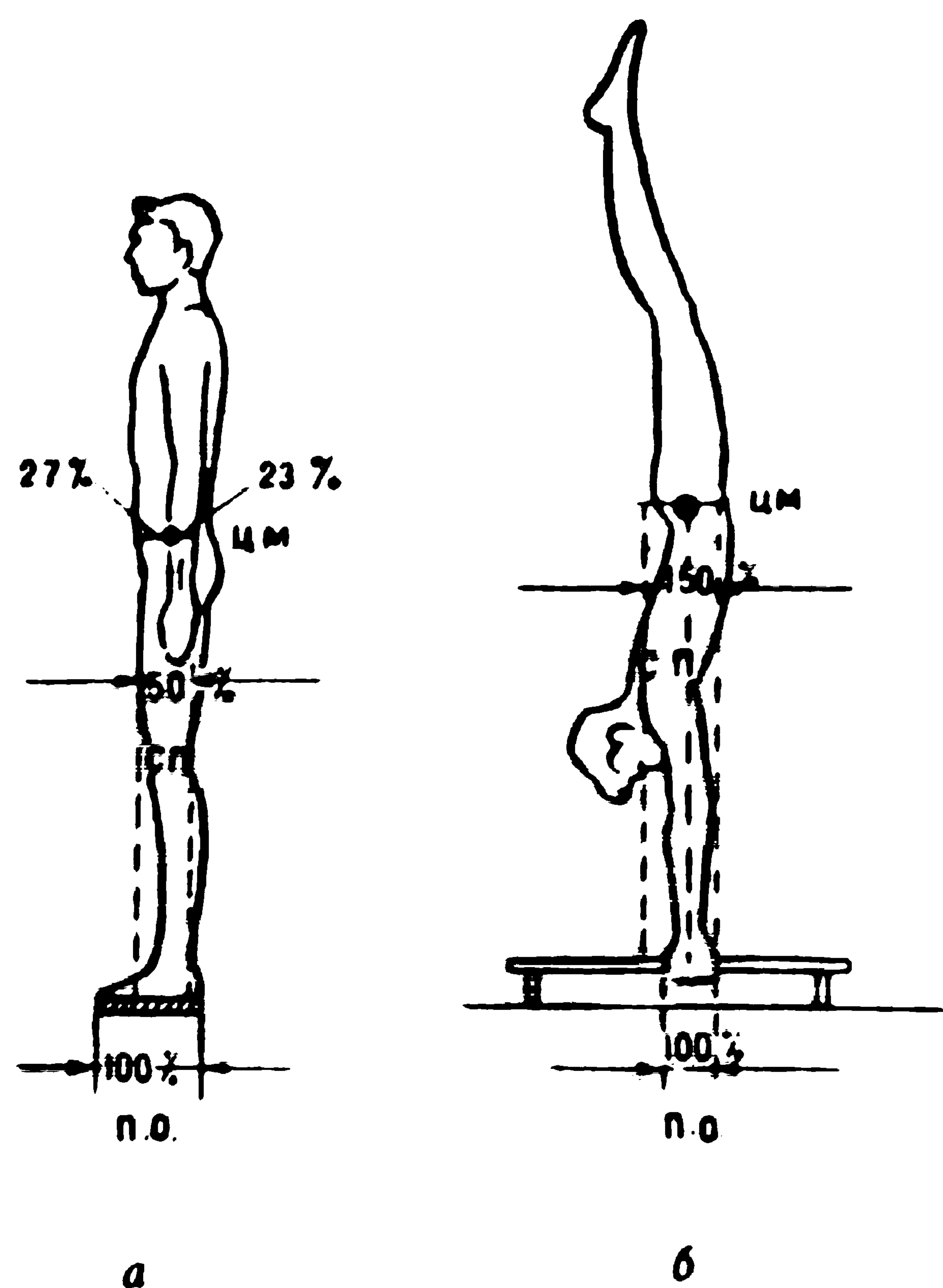


Рис. 76.

Зона сохранения положения при опоре:

а — не удерживающей, б — удерживающей (по В. Б. Коренбёргу)

тельно варьируют не только у разных спортсменов, но при повторном исполнении у одного и того же спортсмена.

## 41.2. Управление сохранением положения

*Сохранение положения тела спортсмена достигается управлением уравнивающими и восстанавливающими силами при компенсаторных, амортизирующих и восстанавливающих движениях.*

Компенсаторные<sup>1</sup> движения направлены на предупреждение выхода ЦМ тела за пределы зоны сохранения положения при возмущающих воздействиях и при собственных движениях на месте. Компенсаторные движения нейтрализуют воздействие возмущающих сил на ЦМ тела. Эти движения выполняются обычно одновременно с отклонениями (рис. 77, а) и, как правило, автоматически.

Амортизирующие движения уменьшают эффект действия возмущающих сил. Это обычно уступающие движения, которые направлены в сторону действия возмущающей силы. Они замедляют начавшееся отклонение и останавливают его (рис. 77, б). Их выпол-

<sup>1</sup> Компенсация (лат.) — возмещение.



няют (как и компенсаторные движения) одновременно с действием возмущающих сил.

Восстанавливающие движения направлены на возвращение ЦМ тела в зону сохранения положения из зоны восстановления положения: либо под действием внешней силы переместить ЦМ тела в зону сохранения равновесия, либо, переместив точку опоры, «подвести» ее под ЦМ тела. Восстанавливающие движения нередко не только устраняют отклонения от равновесного положения, но и вызывают противоположное отклонение (гиперкоррекция). Новые же восстанавливающие движения (вторичная коррекция) вновь переходят через среднее положение — происходит ряд затухающих колебаний (б а л а н с и р о в а н и е).

Нередко приходится сочетать два, а то и три способа сохранения и восстановления положения в виде одного комбинированного действия. Таким образом, сохраняя положение, человек управляет своими движениями, борется со сбивающими силами активно, что принципиально отличается от пассивного уравнивания неживых тел.

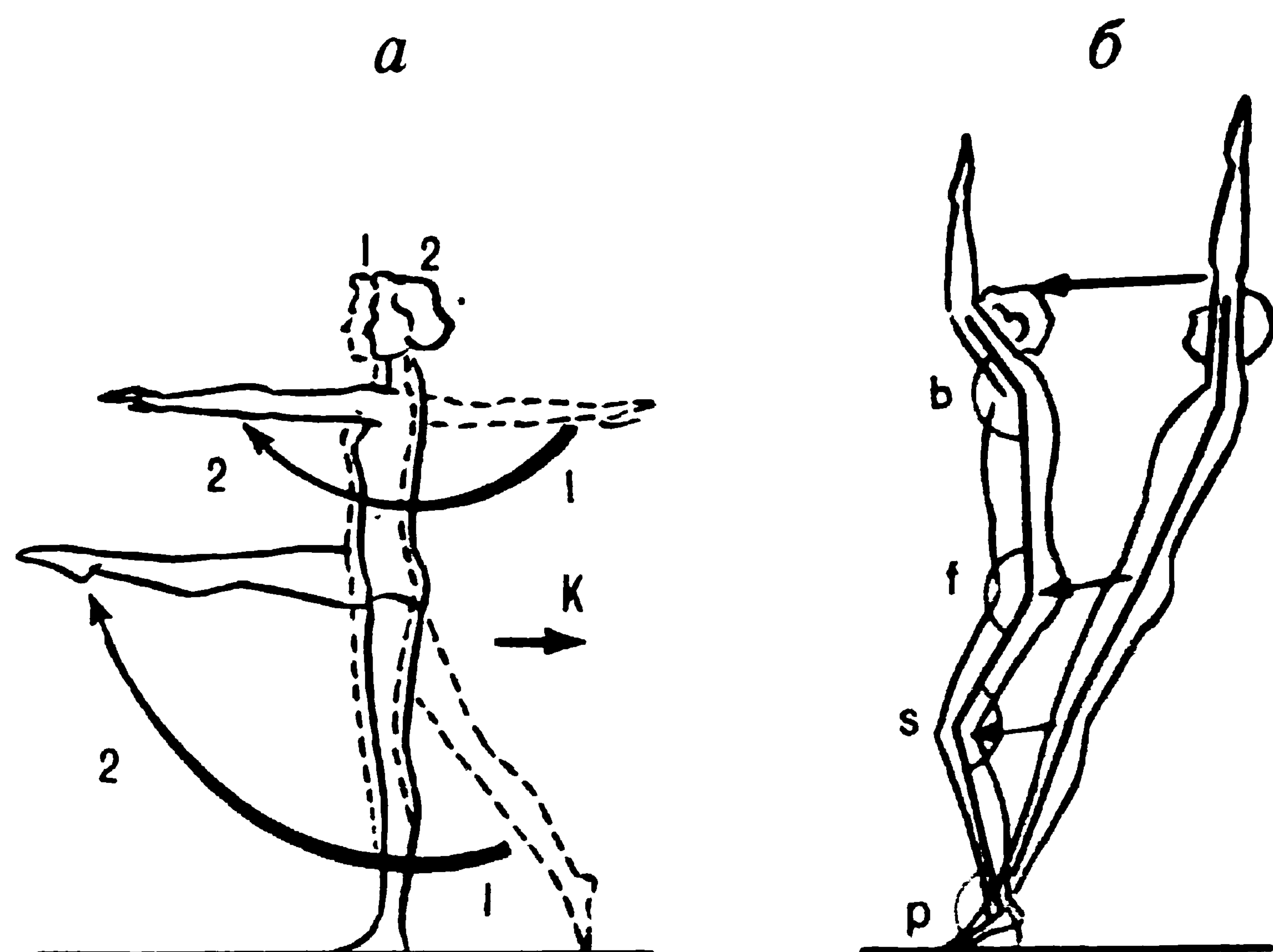


Рис. 77.

Управление сохранением положения движениями:

*a* — компенсаторными; *b* — амортизирующими

### 41.3. Биодинамика осанки

*Осанка — это сложившаяся привычная поза человека, сохраняемая при определенных условиях.*

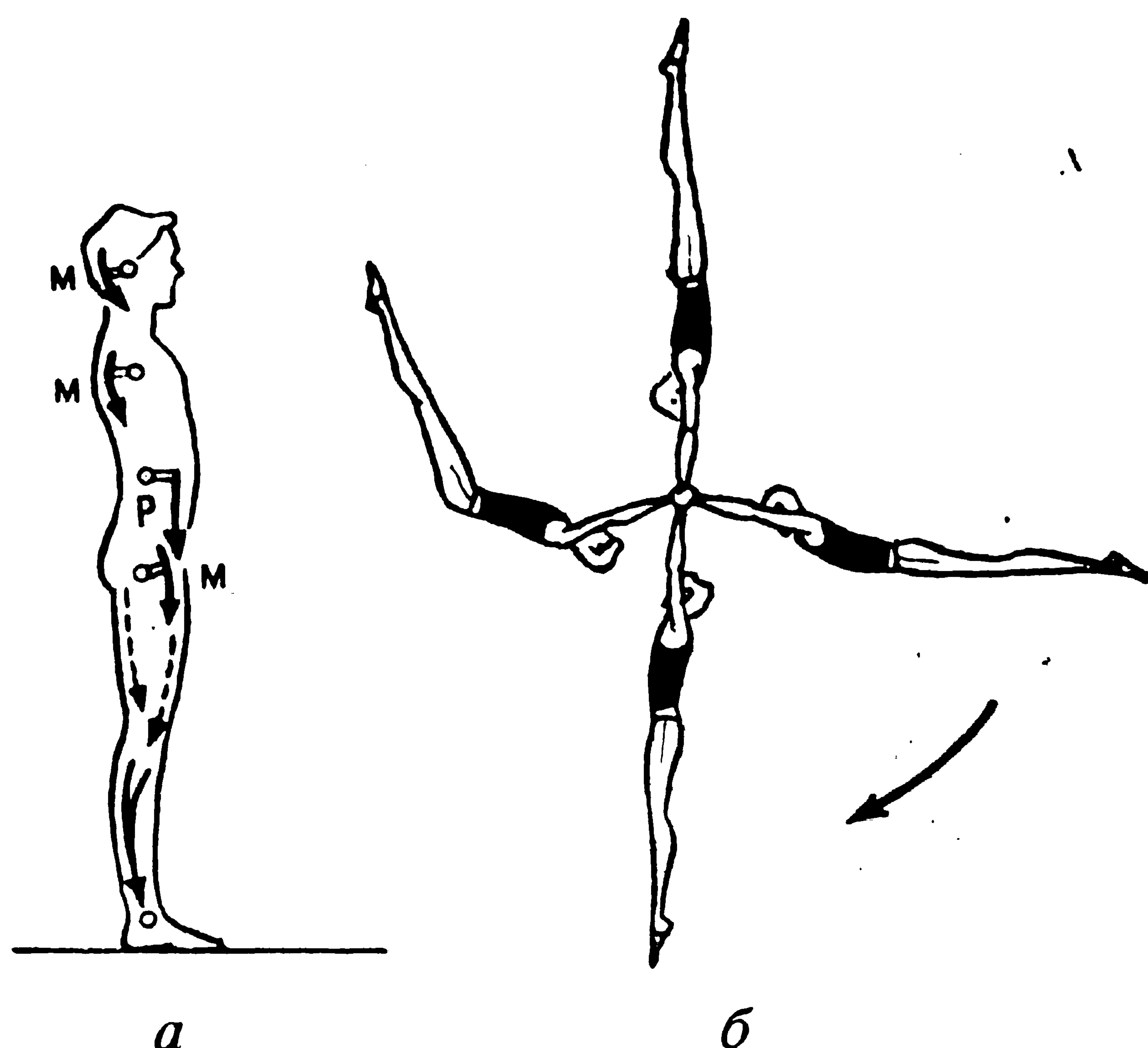
Понятие «осанка» обычно относят к вертикальной позе человека в положении стоя. В известной мере осанка сохраняется для верхних частей тела и в положении сидя. Характерные позы велосипедиста, фехтовальщика, лыжника, всадника, по сути дела, тоже виды осанки, но их принято называть посадкой, стойкой и т. п.

Осанку, сохраняемую при неизменных условиях, называют с т а т и ч е с к о й, а сохраняемую при переменных условиях (изменение ориентации в пространстве) — д и н а м и ч е с к о й.

В положении стоя предъявляют ряд требований к осанке (как при неподвижности, так и при небыстрых передвижениях). В основном эти требования относятся к конфигурации позвоночного столба. Вследствие взаимодействий звеньев тела конфигурация позвоночного столба обусловлена положением связанных с ним звеньев: головы, пояса верхних конечностей, таза (рис. 78, *a*).

В положении стоя голова удерживается против момента ее силы тяжести разгибателями головы. Поскольку вследствие шейного изгиба вперед (лордоза) вес головы направлен на сгибание шейного отдела позвоночного столба, удерживающую работу совершают и мышцы шеи. Удерживание головы при некотором опускании ее вперед рефлекторно способствует увеличению грудного изгиба назад (кифоза).





**Рис. 78.**

Осанка:

*а* — статическая, *б* — динамическая

Удерживание головы при небольшом сгибании шейного отдела позвоночного столба (подбородок «на себя») способствует уменьшению грудного кифоза.

Пояс верхней конечности может быть выведен вперед и лопатки отведены от позвоночного столба, что тоже связано с увеличением грудного кифоза. Это плохая осанка. При такой осанке изменяются не только изгибы позвоночного столба, но и конфигурация верхней части туловища.

Положения головы и пояса верхней конечности воздействуют на осанку механически. Однако, по-видимому, влияние оказывает и рефлекторное распределение тяги мышц.

Изгибы позвоночного столба существенно зависят от веса расположенных выше отделов туловища, а также головы и верхних конечностей. Мышцы своим напряжением противодействуют моментам сил тяжести, уменьшают изгибы. Они зависят также и от нижерасположенных звеньев тела. Таз, опираясь на тазобедренные суставы, в зависимости от тяги мышц (сгибателей и разгибателей этих суставов), может больше или меньше наклоняться, поворачиваясь вокруг поперечной оси; при этом соответственно увеличиваются или уменьшаются изгибы позвоночного столба.

Наконец, на осанку влияет и наклон голеней, разгибание в голеностопных суставах: при большем наклоне голеней таз выводится вперед и уменьшает свой наклон, при меньшем — наоборот.

Чрезмерные старания ликвидировать недостатки осанки могут привести к ее нарушению в сторону другой крайности. Из-за большого числа факторов, определяющих осанку, встречается много вариантов отклонений от нормальной осанки.

Нарушения осанки обычно связаны с ограничениями подвижности в суставах. Одни мышцы оказываются ослабленными и слишком растянутыми, другие (их антагонисты) — укороченными, ограничивающими движения. Поэтому мероприятия по восстановлению правильной осанки направлены на увеличение подвижности звеньев тела, укрепление ослабленных мышц и растягивание укороченных. При этом необходимо установить правильный баланс напряжений мышц, обуславливающих как изгибы позвоночного столба, так и положения связанных с ним частей тела. Казалось бы, длительно действующие факторы (неправильные размеры парты и др.) трудно преодолеть, применяя кратковременные корригирующие упражнения. Однако эти упражнения приводят к наилучшему балансу напряжений мышц. Кроме того, очень существенно то, что создается установка на поддержание правильной осанки.



Динамическая осанка, в отличие от статической, сохраняется лишь в общих чертах при движениях. При выполнении гимнастических упражнений на снарядах необходимо соблюдать требования к позе, несмотря на изменение ориентации тела в пространстве и зависящее от этого изменение действия внешних сил (рис. 78, б). Внешние силы (силы тяжести и реакций опоры) вызывают появление в теле человека множества внутренних сил взаимодействия между звеньями тела — сил веса соседних звеньев и соответствующих реакций опоры в суставах. При перемене ориентации тела во время упражнений на снарядах необходимо для сохранения заданной позы изменять силу тяги многих групп мышц. Так, в маховых упражнениях на снарядах сохраняется требование выпрямленного положения рук, ног, туловища. Для исполнения ряда элементов необходимы лишь управляющие движения в тазобедренных и плечевых суставах в соответствующих фазах упражнения. Сохранение динамической осанки, в отличие от статической, достигается строго координированной сменой напряжений мышц тела. Овладеть динамической осанкой целесообразно последовательно: сначала учиться сохранять ее в соответствующих упражнениях в висе или в упоре на снаряде, далее в упрощенных, облегченных условиях, но приближенных к реальным условиям выполнения упражнения и, наконец, при выполнении упражнения полностью. От качества овладения динамической осанкой во многом зависит успешность овладения многими упражнениями.

## ДВИЖЕНИЯ НА МЕСТЕ

Для движений человека на месте характерны неизменная опора и сохранение равновесия. Звенья, находящиеся в контакте с опорой, не изменяют своего положения. При изменении же позы тела (в результате взаимодействия с опорой) почти всегда смещается и его ЦМ.

### § 42. Изменение движения центра масс системы

#### 42.1. Движение центра масс системы

*По закону сохранения движения центра масс системы (ЦМС) движение ЦМС сохранится неизменным, если главный вектор сил, действующих извне на систему, равен нулю.*

Если сохраняется движение ЦМ, то система либо находится в покое, либо имеет постоянную скорость (равномерное и прямолинейное движение) в данной системе отсчета.

Из закона сохранения движения ЦМС следует вывод: для изменения движения ЦМС необходимо приложить к системе внешние для нее силы. Если таких сил нет или они взаимно уравновешены, то движение всей системы в целом (ее ЦМ) не изменяется. При активных движениях человека на месте возникает и изменяется движение его ЦМ — значит, приложены внешние силы. Следовательно, всякое изменение скорости ЦМ (по величине и направлению) — свидетельство приложения внешних сил. Тело живого человека в абсолютно полном покое, да и в равномерном и прямолинейном движении, как правило,



не бывает. Силы, приложенные к телу человека, и их соотношение изменяются; практически они не бывают равны нулю. Значит, и ЦМ тела человека никогда не сохраняет движения.

*Для изменения движения ЦМ подвижных звеньев и перемещаемых тел необходимо, чтобы к ним были приложены внешние для них силы; это могут быть и внутренние относительно тела человека силы, и внешние.*

В движениях на месте опора неизменна. Значит, есть и о п о р н ы е звенья, имеющие связь с опорой. Они обычно неподвижны относительно опоры (стопы при стоянии на полу, кисти при захвате перекладины в висе). Другие звенья тела движутся относительно опорных звеньев тела и опоры; это п о д в и ж н ы е звенья. Они могут быть связаны с перемещаемыми телами (например, гантелями, штангой).

Взаимодействие подвижных и опорных звеньев измеряется внутренними для человека силами. Действие на опорные звенья со стороны опоры — это внешняя для всего тела сила. К внешним силам для тела человека относится также действие перемещаемых им тел на подвижные звенья. Для каждого из звеньев действие на него соседних звеньев, опоры или перемещаемых тел есть проявление внешних для данного звена сил.

Очень важно различать внешние для всего тела человека силы и внешние для каждого звена силы. ЦМ каждого звена изменяет свое движение, если к этому звену приложены внешние относительно него силы. Эти силы — внутренние для всей системы звеньев — сами по себе без участия внешних сил не могут быть причиной одинакового передвижения всех звеньев системы и ее ЦМ.

Таким образом, при движениях человека на месте возникает и изменяется движение ЦМ тела человека вследствие приложения к звеньям тела неуравновешенных внешних (относительно звеньев) сил.

*Реактивные внешние силы (нормальные реакции опоры, силы трения) при движениях на месте уравновешивают действие подвижных звеньев на опорные. Эти силы сами изменяются соответственно ускорениям подвижных звеньев и перемещаемых тел.*

Как известно, силу тяжести тела в покое уравновешивает реакция опоры. Опорные звенья неподвижны: они уравновешены относительно опоры реактивными внешними силами — нормальными реакциями опоры.

При движениях подвижных звеньев и перемещаемых тел возникают их ускорения, а следовательно, и силы инерции противоположного направления. Когда силы инерции направлены в сторону опоры, они вызывают динамическую составляющую реакции опоры, которая складывается со статической составляющей реакцией опоры. Общая реакция опоры больше статической. Когда силы инерции имеют направление от опоры, реакция опоры уменьшается на величину сил инерции. Общая реакция опоры меньше статической.

Когда ускорения подвижных звеньев направлены не по нормали (не перпендикулярно, а под острым углом к плоской поверхности опоры), возникают соответствующие силы трения. Например, ускорение тела



человека направлено вперед, тогда его силы инерции направлены назад, а сила трения, приложенная к телу как противодействие силе инерции, направлена вперед. Перемещаемые тела, как и подвижные звенья, при своих ускорениях тоже вызывают изменения реактивных сил опоры.

Таким образом, движения на месте сопровождаются изменениями внешних реактивных сил вследствие действия на опору сил инерции ускоряемых звеньев и других внешних для человека сил.

## 42.2. Изменение количества движения системы

*По закону сохранения количества движения в изолированной материальной системе (сумма приложенных внешних сил равна нулю) количество движения остается неизменным.*

Первый вывод из этого закона подтверждает то, что уже известно из закона сохранения движения ЦМС, а именно: без внешней силы нет изменения движения ЦМС; о том же говорят первый и второй законы Ньютона. Второй наиболее важный вывод: для изменения скорости системы внешняя сила должна быть приложена в течение некоторого времени, поскольку скорость изменяется не силой, а ее импульсом.

Строго говоря, любая сила действует во времени; взаимодействия тел вне времени нет. И любая сила приложена к телу, обладающему какой-то массой; тел, не имеющих массы, не существует. Так как все движения в суставах происходят вокруг оси, то для звена следует рассматривать не количество движения, а момент количества движений (кинетический момент). Пока же для упрощения разбора можно рассмотреть количество движения.

Два тела с одинаковыми массами, объединенные в систему, взаимодействуя, отталкиваются друг от друга (рис. 79, а). Для этой системы силы взаимного отталкивания — внутренние, поэтому общего количества движения системы они не изменяют. И у ЦМ движение под действием этих сил не изменится. Но для каждого из тел системы сила отталкивания ( $F_1, F_2$ ) — внешняя. Обе они равны друг другу. Обе действуют в одно и то же время ( $t$ ) в противоположных направлениях ( $+F_1t_1, -F_2t_1$ ). Они вызовут одинаковое по величине и противоположно направленное изменение количества движения взаимодействующих тел. Так как массы тел одинаковы, то они получают одинаковые по величине и противоположные по направлению скорости.

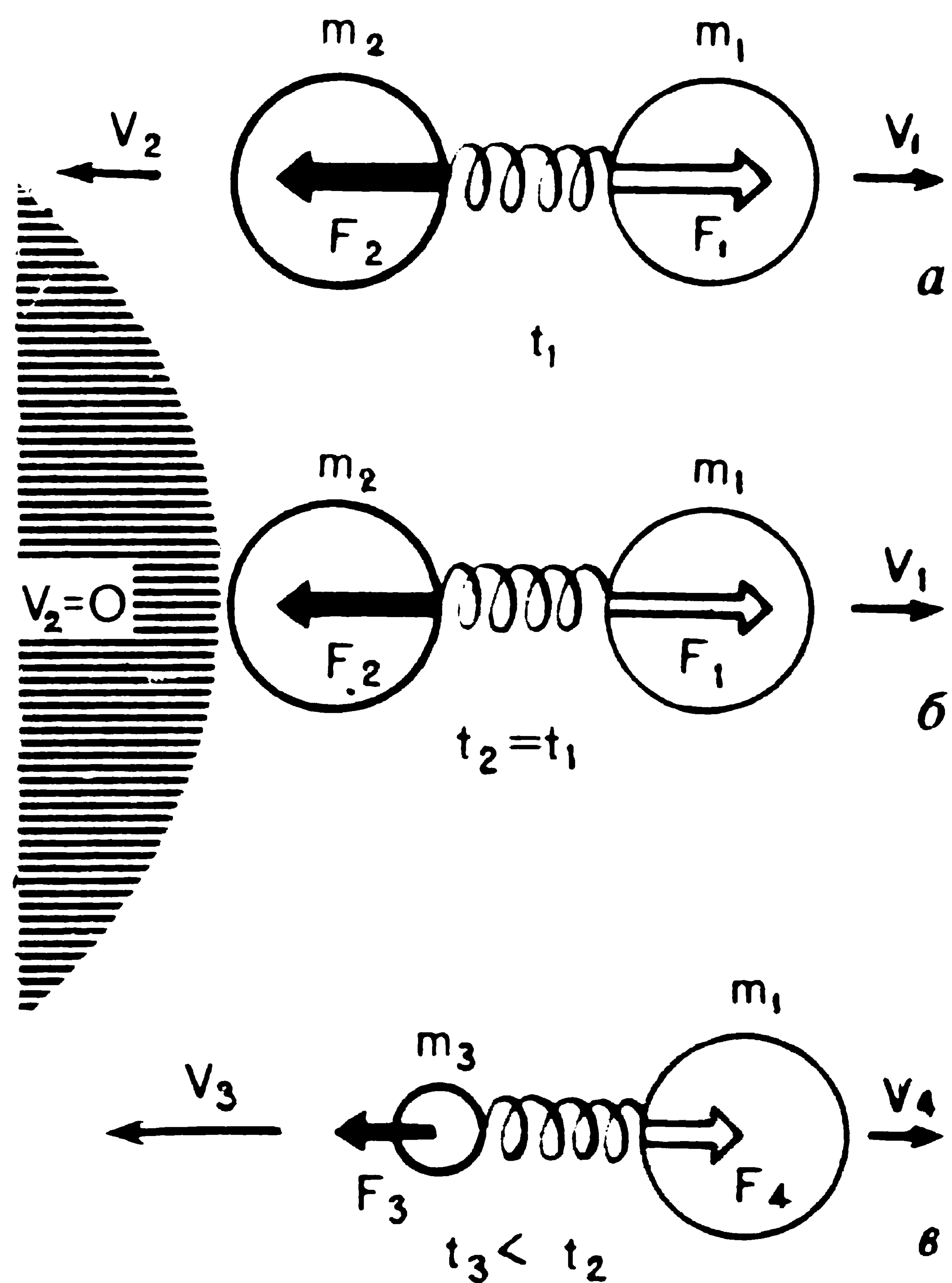


Рис. 79.

Взаимодействие тела при отталкивании от тела с массой.

а — равной, б — большей, в — меньшей



Если одно из тел ( $m_2$ ) опирается на тело с несравнимо большей массой (например, земной шар) (рис. 79, б), то тело, получившее опору (например, опорное звено  $m_2$ ), под действием импульса силы  $F_2 t_2$  не сдвинется относительно опоры. Второе же тело (например, подвижное звено  $m_1$ ) под действием такого же импульса силы ( $F_1 t_2 = F_1 t_1$ ) получит прежние количество движения.

Но так будет лишь в том случае, когда силы отталкивания и время взаимодействия остались прежними. Предположим, что одно из тел имеет сравнительно маленькую массу ( $m_3$ ) (рис. 79, в). Если бы импульс силы снова остался прежним, то оно получило бы прежние количество движения; значит, ему была бы сообщена соответственно большая скорость. Другое же тело, с прежней массой ( $m_1$ ), получило бы прежнюю скорость. Однако путь приложения силы (например, удлинение сжатой пружины, выпрямление согнутой ноги) одинаков, если механизм отталкивания один и тот же во всех трех случаях. Но скорости отдаления тел друг от друга будут разными ( $v_3$  не равно  $v_4$ ). Время отталкивания будет меньшим при взаимодействии с самым легким телом. Сила отталкивания в каждом случае переменна: начинается с нуля, возрастает до максимума, падает до нуля. При непродолжительном взаимодействии с легким телом она не возрастает до такого же максимума, как при взаимодействии с земным шаром. Значит, и время отталкивания в третьем случае короче и сила меньше. Поэтому в реальных условиях, определяющих величину силы и время взаимодействия, важно учитывать, какое тело служит опорой при отталкивании, на что опираются звенья.

Таким образом, чтобы обеспечить увеличение количества движения подвижных звеньев, нужно иметь тело опоры с достаточно большой массой, что позволит создать необходимый импульс силы.

### 42.3. Преодолевающие и уступающие движения

*В преодолевающих движениях суммарная тяга мышц направлена в сторону движения звена, в уступающих — в противоположную сторону.*

Движения человека могут выполняться с преодолевающей (положительной) работой мышц. Мышцы укорачиваются, преодолевая силы сопротивления, приложенные к звеньям (например, поднятие штанги). Такие движения раньше называли активными; пассивными же считали движения, выполняемые без активного сокращения мышц, например при помощи внешних для человека сил (опускание штанги под действием ее веса и т. п.). Нередко бывают пассивные движения, при которых действительно мышцы никакой роли не играют (свободное падение человека, пассивное «падение» расслабленной руки). Но часто встречаются «пассивные» движения, в которых человек напряжением мышц-антагонистов тормозит или останавливает движение, вызванное внешними для человека силами (то же опускание штанги на помост). В таких случаях антагонисты совершают уступающую (отрицательную) работу (растягиваясь, они как бы уступают движущим внешним силам), причем совершают иногда огромную работу, при которой их активность (в биологическом смысле) очень велика. Поэтому их



движения нецелесообразно называть пассивными. Не следует смешивать понятия «активные-силы» в смысле механическом (способные вызвать движение) и в смысле биологическом (тяги мышц). Правильнее делить движения на преодолевающие (с положительной работой мышц) и уступающие (с отрицательной работой мышц). И те, и другие движения активные. Пассивными же следует называть лишь движения без активного участия мышечных сил (свободное падение, полет по инерции и т. п.).

Таким образом, в преодолевающих движениях главными источниками движущих сил служат только мышечные тяги, хотя им могут помогать и иные силы. Тормозящие же силы могут быть весьма разнообразными: в упражнениях с отягощением — их вес и силы инерции; в упражнениях с эспандером — силы его упругой деформации; в упражнениях с сопротивлением партнера — вес и сила инерции его тела, его мышечные силы; в упражнениях без снарядов — вес и силы инерции собственных частей тела и даже тяги своих мышц-антагонистов. В уступающих движениях источниками движущих сил могут быть любые силы, а тормозящими служат преимущественно тяги мышц-антагонистов. Деление на преодолевающие и уступающие движения в известной мере условно. И преодолевающее движение могут тормозить мышцы-антагонисты, и в уступающем движении в числе движущих сил могут оказаться мышечные тяги. Очень часто движение, начавшееся как преодолевающее, заканчивается как уступающее; мышцы, разогнавшие звено, в определенный момент «выключаются», а мышцы-антагонисты, «включившись», затормаживают движение, действуя против возникающих при торможении сил инерции (например, движение переносной ноги в беге).

В медленных движениях ускорения невелики, значит, и силы инерции малы. Поэтому уступающая (тормозящая) работа в конце движения малозаметна. В быстрых же движениях ускорения при остановке звеньев большие, силы инерции возникают значительные. В быстрых возвратных движениях со сменой уступающего движения на преодолевающее силы инерции и силы упругой деформации обеспечивают реверсивный режим.

*При движениях на месте подвижные звенья движутся так, что ЦМ тела остается в пределах зоны сохранения положения, в крайнем случае — зоны восстановления положения.*

Как известно, сохранение положения представляет собой ряд непрерывных движений на месте (микро- и макроколебания), во время которых, стараясь сохранить равновесие, уменьшают отклонения. В движениях на месте, выполняя основную двигательную задачу, необходимыми движениями подвижных звеньев обеспечивают сохранение равновесия, не меняя опоры. Различие между этими двумя группами движений (кроме основной задачи действия) — в размахе движения, сходство — в обеспечении равновесия. Компенсаторные, амортизирующие и восстанавливающие движения широко используются в движениях на месте, особенно тогда, когда возникает опасность нарушения равновесия.



## § 43. Механизмы приближения к опоре и отдаления от нее

При верхней опоре приближение к ней преодолевающим движением выполняется по механизму притягивания; движение в обратном направлении — уступающее (например, опускание вниз). При нижней опоре отдаление от нее преодолевающим движением осуществляется по механизму отталкивания; движение в обратном направлении — уступающее (например, приседание).

### 43.1. Механизм притягивания

Возбужденная мышца напрягается и, если может преодолеть сопротивление, сокращается, сближая при этом места прикрепления; сближаются два звена, соединенные мышцей. Притягивание — способ выполнения мышцами положительной работы.

При верхней опоре человек обычно имеет удерживающую связь с закрепленным физическим телом (подвес). Звенья, соединенные с подвесом (гимнастическим снарядом, уступом скалы и т. п.), — опорные. При движениях на месте они чаще всего остаются неподвижными. Остальные звенья тела — подвижные, они перемещаются относительно опорных звеньев и друг друга.

Общий механизм притягивания при верхней опоре схематически состоит в следующем (рис. 80, а). Силой тяжести опорных звеньев, закрепленных на верхней опоре, как и силой тяжести схематических звеньев с пружиной, можно пренебречь. Мышца (на рисунке изображена как растянутая пружина), соединяющая подвижные звенья с опорными, под действием веса подвижных звеньев ( $P$ ) напряжена. Ее сила тяги приложена к рычагам и не позволяет им

опуститься вниз: сила  $F'$  вызывает равное и противоположное по направлению противодействие реакции опоры ( $R_{ст}$ ). Сила  $F''$  равна по модулю силе  $P$  (как действие и противодействие). В этом исходном положении движения еще нет. Чтобы вызвать притягивание подвижных звеньев к верхней опоре, необходимо увеличить напряжение мышцы (приращение силы тяги соответственно  $\Delta F'$  и  $\Delta F''$ ). Тогда сила  $+\Delta F''$  вызовет ускорение ( $+a$ ) подвижных звеньев, направленное вверх; появится направленная вниз сила инерции ( $F_{ин}$ ), приложенная к рычагам. Это обусловит возникновение динамической составляющей реакции опоры ( $R_{дин}$ ). Сила  $+\Delta F''$  и представляет собою ускоряющую си-

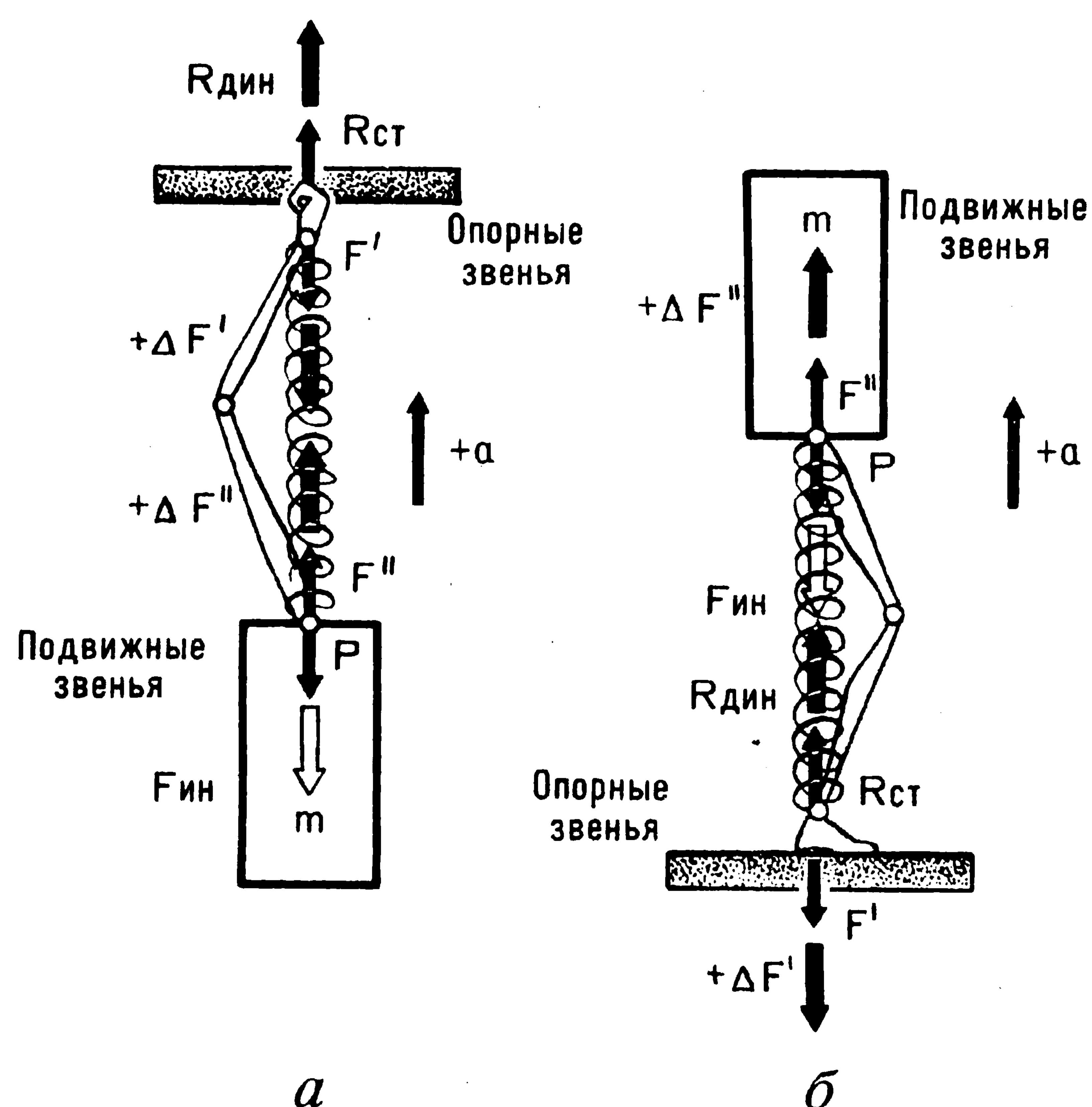


Рис. 80.

Механизмы движений на месте:

а — механизм притягивания, б — механизм отталкивания



лу, вызывающую притягивание. Центр масс подвижных звеньев получает ускорение. Реакция опоры как реакция связи движения не вызывает, движущей силой она не является, но без нее изменение движения ЦМ невозможно. Источником же энергии движения служит мышца; ее сила тяги  $+ \Delta F'$  для подвижных звеньев — сила внешняя. Следовательно, закон сохранения движения ЦМС соблюдается.

Итак, движение по способу притягивания происходит благодаря увеличенному напряжению мышц, которые ускоряют своей тягой подвижные звенья, сближают их с опорными.

#### 43.2. Уступающие движения при верхней опоре

Под действием внешних сил тело человека может совершать уступающие действия, отдаляясь от верхней опоры.

При этом напряжение мышц уменьшается. Возникает избыток силы веса над силой тяги мышц. Направленное вниз ускорение подвижным звеньям придает сила, представляющая собой разность между весом тела и силами тяги мышц вверх. Если бы вес тела вызывал ускорение, то было бы просто свободное падение подвижных звеньев вниз.

Под действием этой ускоряющей силы подвижные звенья, опускаясь, растягивают мышцы. Работа, которую они совершают на пути своего действия, отрицательная, поскольку силы направлены в сторону, противоположную движению. Положительную работу совершает сила, равная избытку веса подвижных звеньев над тягой мышц, приложенной к рычагам. Уступающее движение под действием веса (постоянной силы) происходит вследствие уменьшения момента силы мышцы. Ускоряющей силой служит избыток веса над силой тяги мышц. При ускорении возникает сила инерции, направленная вверх, и уменьшается общая реакция опоры.

Примером движений при верхней опоре может служить подтягивание в висе и опускание. Первая часть этого движения происходит по механизму притягивания к верхней опоре. Необходимо установить, какие движения в суставах являются преодолевающими и работа каких мышц их вызывает. Коль скоро в исходном положении руки вытянуты вверх, то пояс верхних конечностей поднят вверх, лопатки отведены от позвоночного столба и повернуты нижними углами вперед. Ключицы и лопатки при подтягивании будут опускаться тягой широчайших мышц спины и больших грудных мышц, приводить и поворачивать лопатки будут ромбовидные мышцы. В обоих движениях участвуют нижние части трапецевидных мышц. Одновременно широчайшие мышцы спины и трехглавые мышцы плеча разгибают его, а двуглавые мышцы плеча и другие сгибатели сгибают предплечье. Опускание в положении виса выполняется при уступающей (отрицательной) работе тех же самых мышц с перемещением подвижных звеньев в обратном направлении. При уступающей работе мышцы в состоянии развить большее напряжение, чем при преодолевающей. Поэтому уступающее движение при том же отягощении выполнить легче.



### 43.3. Механизм отталкивания

При отдалении звеньев друг от друга силой тяги мышцы места ее прикрепления сближаются, приближение одного конца двуплечевого рычага сопровождается отдалением другого его конца. Отталкивание — способ совершения мышцами положительной работы.

Обычно связь опорных звеньев с нижней опорой бывает неустойчивой; стопу, например, прижимает к грунту только вес верхних звеньев тела.

Общий механизм отталкивания при нижней опоре схематически состоит в следующем (рис. 80, б). Мышца (на рисунке она условно обозначена как сжатая пружина) своим напряжением не позволяет весу верхних звеньев согнуть систему рычагов. Сила  $F'$  поддерживает верхние звенья, уравнивает их вес  $P$ . Сила  $F''$  через опорные звенья давит на опору; она уравновешена противодействием опоры.

Чтобы вызвать отталкивание подвижных звеньев от нижней опоры, необходимо увеличить напряжение мышцы (приращение силы тяги соответственно  $+\Delta F'$  и  $+\Delta F''$ ). Тогда сила  $+\Delta F''$  вызовет ускорение подвижных звеньев ( $+a$ ), направленное вверх, появится сила инерции ( $F_{ин}$ ) как неуравновешивающее сопротивление, направленная вниз, приложенная к верхней точке рычагов. Это обусловит появление динамической составляющей опорной реакции ( $R_{дин}$ ). Сила  $+\Delta F''$  и есть ускоряющая сила, под действием которой начинается отталкивание.

Так же как и в механизме притягивания, реакция опоры как внешняя сила совершенно необходима, но не она вызывает движения. Человек при отталкивании, как и при притягивании, самодвижущаяся система; источник энергии движения — внутренний. Твердое тело может перемещаться только под действием внешней силы. А тело человека представляет собой систему тел, каждое из которых изменяет свое положение под действием всех приложенных именно к нему сил. Таким образом, при активных движениях человека не существует одной-единственной силы, движущей все его звенья как систему тел.

Движение по механизму отталкивания происходит благодаря увеличению напряжения мышц: они, сближая свои концы, отдаляют подвижные звенья от опорных. В результате увеличивается реакция опоры, противодействующая весу подвижных звеньев и их силе инерции, передаваемым через рычаги на опорные звенья.

### 43.4. Уступающее приближение к нижней опоре

Как и в случае уступающего отдаления от верхней опоры, при уступающем приближении к нижней опоре мышцы совершают работу под действием верхних звеньев тела. Избыток действия веса относительно действия тяги мышц служит ускоряющей силой, приближающей тело к опоре. Как и при любом ускорении, возникают силы инерции и изменяется реакция опоры.

Примером движений при нижней опоре может служить сгибание и выпрямление рук в упоре лежа. Очевидно, что движение ЦМ тела вниз при нижней неустойчивой опоре может осуществляться под действием силы тяжести только подвижных частей тела. Голова, шея,



туловище и ноги фиксированы во всех суставах напряжением мышц-антагонистов и движутся как вниз, так и вверх в виде единого целого. Лопатки фиксированы относительно грудной клетки. Основные движения в суставах при сгибании рук — разгибание в плечевых и сгибание в локтевых и лучезапястных суставах — происходят при уступающей работе мышц-антагонистов.

Выпрямление рук в упоре лежа, естественно, представляет собой преодолевающее движение, протекающее с сокращением мышц, которые ранее выполняли уступающую, а теперь совершают положительную преодолевающую работу. Вследствие малой скорости и относительно большой длительности движения ускорения, а значит, и силы инерции будут невелики.

Кинематика и динамика взаимодействия биомеханической системы с опорой характеризуются некоторыми особенностями.

На рис. 81 представлена биокинематическая пара, соединенная подвижно с опорой. Увеличение угла ( $\varphi$ ) между звеньями этой пары приводит к противоположно направленным поворотам звеньев: звено, ближе к опоре, повернется налево ( $\omega_1$ ), а звено, дальше от опоры, повернется направо ( $\omega_2$ ). При этом ЦМ пары получит движение вдоль радиуса ( $V_R$ ), соединяющего его с осью внешнего шарнира (опорой), а также в перпендикулярном ему направлении ( $V_T$ ) в левую сторону. Вся пара вращается ( $\omega_3$ ) в направлении ближнего к опоре звена. Если при этом не приложен момент внешней силы, то происходит взаимная компенсация двух составляющих кинетического момента относительно фиксированной оси (опоры): 1) кинетический момент, образуемый вращательным движением звеньев относительно их ЦМ, направлен в одну сторону и 2) кинетический момент, обусловленный перемещением самих ЦМ относительно фиксированной оси, — в другую. Сгибательно-разгибательные движения спортсмена при взаимодействии с опорой вызывают ряд кинематических следствий сложного характера. Как уже говорилось, при паре угловых скоростей, т. е. равенстве угловых скоростей звеньев, движущихся разнонаправленно, последующее звено (или группа звеньев) получает поступательное движение

Динамика взаимодействия системы звеньев с опорой определяется особенностями передачи и использования энергии. Повышение жесткости<sup>1</sup> мягких тканей в соединениях (суставная жесткость) обес-

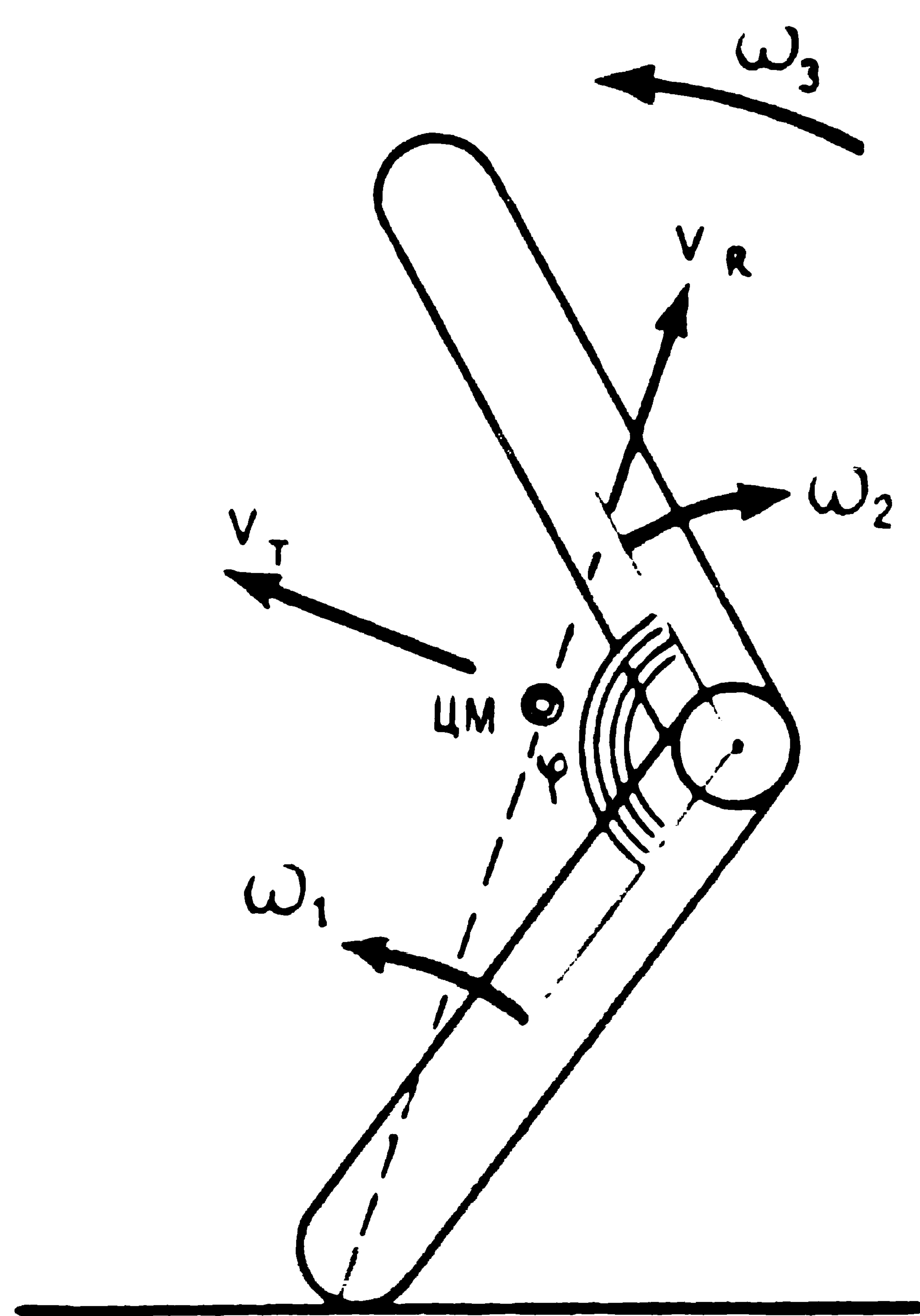


Рис. 81.

Движения биокинематической пары при изменении межзвенного угла  $\varphi$  (по В. Т. Назарову и Б. П. Кузенко)

<sup>1</sup> Жесткость — свойство противодействовать прикладываемой силе. Коэффициент жесткости равен отношению приложенной силы к деформации (н/м).

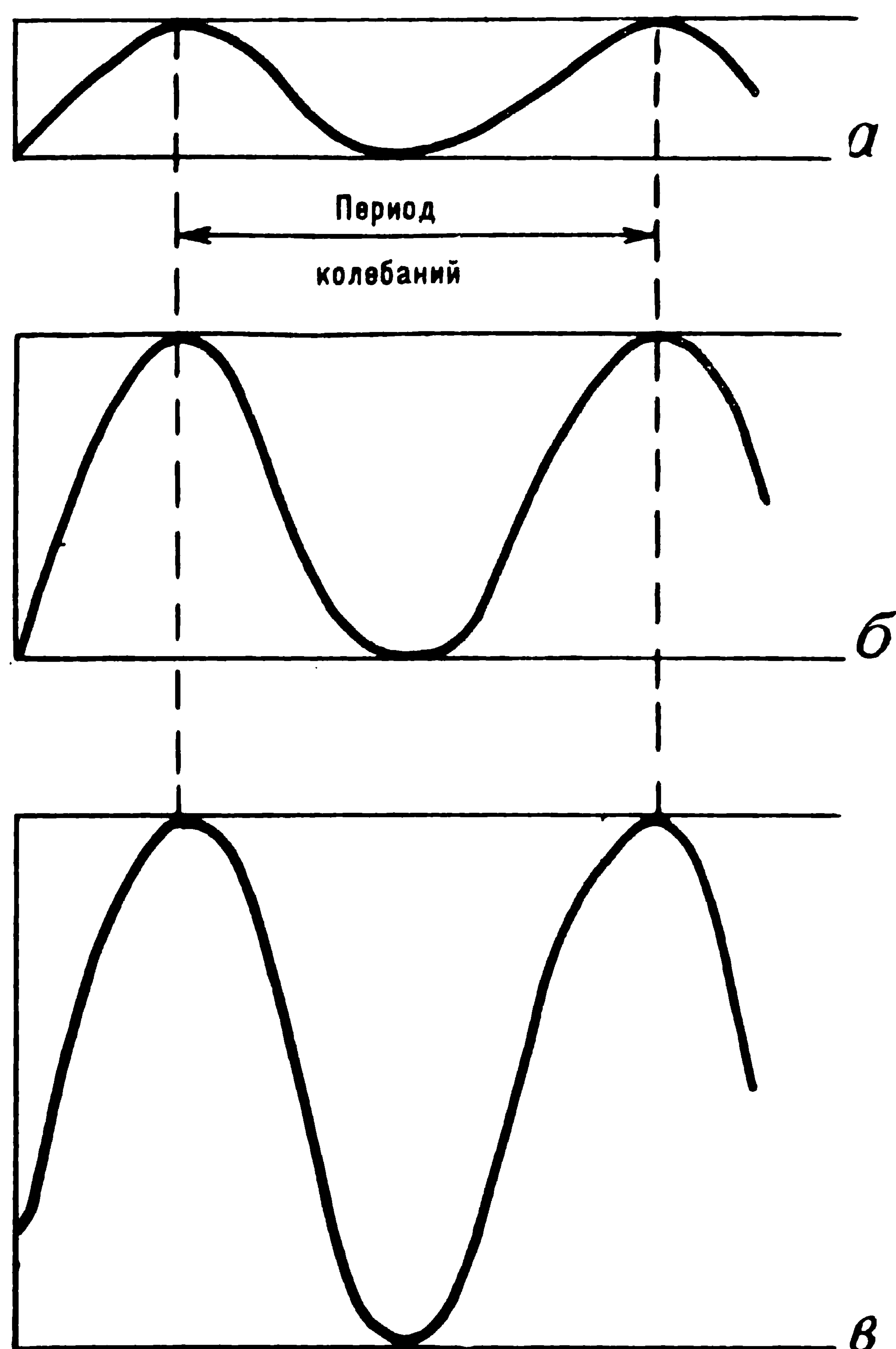


печивает более полную передачу энергии. Это особенно проявляется при ударах и различных отталкиваниях, близких по особенностям и ударным взаимодействиям. С повышением жесткости биомеханическая система приближается к технической механической системе, что уменьшает потери энергии.

Потери энергии при ее передаче по биокинематической цепи (демпфирование<sup>1</sup>) зависят от преобразования механической энергии звеньев в другие виды и ее рассеяния, от степени произвольного напряжения мышц, от величины их растягивания и других факторов. Интересны заметные различия в коэффициентах жесткости и демпфирования в связи со спортивной специализацией<sup>2</sup>:

Специализация	Коэффициент жесткости	Коэффициент демпфирования
Штангисты	$2,88 \pm 0,66$	$1039,80 \pm 243,87$
Спринтеры-легкоатлеты	$3,00 \pm 0,53$	$756,05 \pm 173,14$
Лыжники-гонщики	$2,41 \pm 0,36$	$764,68 \pm 209,24$

При мягкой амортизации происходит значительное демпфирование. При жесткой (упругой) амортизации кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию упругой деформации; в возвратном дви-



**Рис. 82.**

Резонансные колебания гимнаста на снаряде:

*а* — колебания снаряда (свободные); *б* — колебания гимнаста относительно снаряда (вынужденные); *в* — результирующие колебания (по Ю. А. Ипполитову)

жении эта энергия вновь используется (рекуперация энергии). Явление упругой отдачи используется как в мышцах спортсмена, так и в упругой опоре (например, перекладина, жерди параллельных брусьев). Если спортсмен активными движениями создает вынужденные колебания, которые совпадают по частоте со свободными колебаниями упругой опоры, происходит резонансное усиление амплитуды колебаний (рис. 82). Таким образом повышается эффект использования энергии.

Коэффициент эффективности мышечной работы

$$(КЭР = \frac{\text{механическая работа}}{\text{затраченная энергия}})$$

вследствие повторного использования механической работы при упругой отдаче может оказаться больше единицы, а коэффициент полезного действия силы (к.п.д.) всегда меньше единицы.

Кинематические и динамические особенности взаимодействия спортсмена с опорой в движениях на месте проявляются также в движениях локомоторных и перемещающих.

<sup>1</sup> Демпфирование — свойство рассеивать энергию. Коэффициент демпфирования определяется как первая производная диссипативной силы по деформации ( $H/c \cdot m$ ).

<sup>2</sup> По данным А. С. Аруина и др. (1978 г.), для мышц-сгибателей стопы.



# ЛОКОМОТОРНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

У всех локомоторных движений общая двигательная задача — усилиями мышц передвигать тело человека относительно опоры или среды. Среди передвижений относительно опоры (наземных передвижений) наибольшее распространение имеют шагательные локомоции по способу отталкивания. В водной среде применяется как отталкивание, так и (в некоторых пределах) притягивание. И на опоре, и в воде используют также механические преобразователи движений (например, велосипед, академическая лодка). Многие локомоции представляют собою технику самостоятельных видов спорта. В некоторых видах спорта (спортивных играх, единоборствах, гимнастике и др.) локомоторные движения играют вспомогательную роль.

### ОБЩИЕ ОСНОВЫ НАЗЕМНЫХ ЛОКОМОЦИЙ

Для изучения взаимодействия спортсмена с опорой необходимо разобрать общую динамику передвижения биомеханической системы как самодвижущейся.

#### § 44. Механизм отталкивания от опоры

Отталкивание от опоры выполняется посредством: а) собственно отталкивания ногами от опоры и б) маховых движений свободными конечностями и другими звеньями. Эти движения тесно взаимосвязаны в едином действии — отталкивании. От их согласования в значительной мере зависит совершенство отталкивания.

##### 44.1. Взаимодействие опорных и подвижных звеньев с опорой

При отталкивании опорные звенья неподвижны относительно опоры, а подвижные звенья под действием тяги мышц передвигаются в общем направлении отталкивания.

Во время отталкивания легкоатлета от опоры стопа зафиксирована на опоре неподвижно. Шипы туфель, погружаясь в покрытие дорожки (сектора) или брусок (в прыжках в длину), обеспечивают надежное соединение с опорой. На стопу как на опорное звено со стороны голени действует давление ускоряемых звеньев тела, направленное назад и вниз. Через стопу оно передается на опору. Противодействием этому давлению служит реакция опоры. Она приложена к стопе в направлении вперед и вверх. Реакция опоры и давление голени приложены к стопе в противоположных направлениях; они взаимно уравновешиваются и фиксируют стопу на опоре.

Силы мышечных тяг толчковой ноги выпрямляют ее. Поскольку стопа фиксирована на опоре, голень и бедро передают ускоряющее воздействие отталкивания через таз остальным звеньям тела. При ускоренном движении подвижных звеньев на них воздействуют тормозящие силы (тяжести и инерции) других звеньев, а также силы



сопротивления мышц-антагонистов. Следовательно, звенья тела получают ускорение вследствие того, что имеются движущие силы, действие которых превышает сопротивление тормозящих сил.

Чтобы ОЦМ изменил движение, необходимо (в соответствии с законом сохранения движения ЦМ системы) наличие внешней силы, приложенной к системе (см. гл. VIII). Реакция опоры при отталкивании как раз и является такой необходимой внешней силой.

#### 44.2. Работа ускоряющих сил и изменение кинетической энергии при отталкивании

Силы мышечных тяг, приложенные к подвижным звеньям, совершают механическую работу, которая увеличивает кинетическую энергию тела при отталкивании.

Нередко неверно полагают, что движущей силой для человека и источником работы, увеличивающей кинетическую энергию, может быть только реакция опоры как внешняя сила. С точки зрения механики тело человека — это самодвижущаяся система. В такой системе силы тяги мышц приложены к подвижным звеньям. Относительно каждого звена сила тяги мышцы, приложенная к нему извне, служит внешней силой. Следовательно, ускорения ЦМ подвижных звеньев обусловлены соответствующими внешними для них силами, т. е. тягой мышц.

Для всей системы — тело человека — имеется необходимая для ускорения ЦМ внешняя сила. Это реакция опоры. Однако она не служит движущей силой, источником работы. Из закона сохранения кинетической энергии системы<sup>1</sup> следует, что изменение кинетической энергии системы равно сумме работ сил внешних и внутренних. В случае, когда работа внешних сил равна нулю, кинетическую энергию изменяет работа только внутренних сил.

Работа реакции опоры равна нулю. Это очевидно, если учесть, что точка приложения реакции опоры (опорная стопа) при отталкивании не отрывается от опоры и путь ее равен нулю. Следовательно, работа реакции опоры также равна нулю. Ни реакция опоры, ни ее составляющая — сила трения (на гладкой поверхности) сами по себе движения не вызывают, движущими силами не служат. Следовательно, именно работа мышц изменяет кинетическую энергию тела человека при отталкивании.

Реакции опоры при отталкивании под углом, отличающимся от прямого, наклонены к опорной поверхности и имеют вертикальные и горизонтальные составляющие. Вертикальные составляющие обусловлены динамическим весом, т. е. суммой статистического веса и сил инерции подвижных звеньев, имеющих ускорение (или его составляющую), направленное вертикально вверх от опоры. Горизонтальные составляющие реакций опоры обусловлены горизонтальными составляющими сил инерции подвижных звеньев. Однако ускорения подвижных звеньев могут иметь не только три взаимно перпендикулярных

---

<sup>1</sup> Закон сохранения кинетической энергии гласит: если сумма работ всех внешних и внутренних сил, приложенных к системе тел, равна нулю, то кинетическая энергия системы сохраняется неизменной.



направления, что, кстати сказать, вызывает и поперечные составляющие опорных реакций опоры. Контакт опорных звеньев с опорой не точечный, поэтому могут проявиться и вращательные усилия, что усложнит изложенную упрощенную схему реакции опоры.

### 44.3. Маховые движения при отталкивании

Маховые движения при отталкивании — это быстрые движения свободных звеньев тела, одинаковые в основном по направлению с отталкиванием ногой от опоры.

При маховых движениях перемещаются ЦМ соответствующих звеньев тела. Значит, одновременно происходит перемещение ОЦМ всего тела. Так, при прыжках в высоту в результате маховых движений руками и свободной ногой ОЦМ к моменту отрыва от опоры поднимается выше, чем без маховых движений. Если ускорение звеньев тела, выполняющих маховые движения, увеличивается, то и ускорение ОЦМ увеличивается. Таким образом, маховые движения, как и отталкивание ногой, осуществляют перемещение и ускорение ОЦМ. Следовательно, маховые движения, отдаляющие звенья тела от опоры в направлении отталкивания, нужно считать составной частью отталкивания.

В маховых движениях в фазе разгона скорость звеньев увеличивается до максимума. С нарастанием ее нарастает и скорость ЦМ всего тела. Следовательно, чем выше скорость маховых звеньев, тем она больше сказывается на скорости ОЦМ. В фазе торможения мышцы-антагонисты, растягиваясь, напрягаются и этим замедляют движения маховых звеньев, совершая отрицательную работу (в уступающем режиме), скорость их уменьшается до нуля.

Мышечные тяги перераспределяют скорости звеньев тела; движение внутри системы передается от одних звеньев к другим. Поэтому для достижения более высокой скорости ОЦМ нужно стараться продлить фазу разгона на большей части пути махового перемещения.

Когда ускорения маховых звеньев направлены от опоры, возникают силы инерции этих звеньев, направленные к опоре. Совместно с весом тела они нагружают мышцы опорной ноги и этим увеличивают их напряжение. Дополнительная нагрузка замедляет сокращение мышц и увеличивает их силу тяги, в результате чего мышцы толковой ноги напрягаются больше и сокращаются относительно дольше. В связи с этим увеличивается и импульс силы, равный произведению силы на время ее действия, а больший импульс

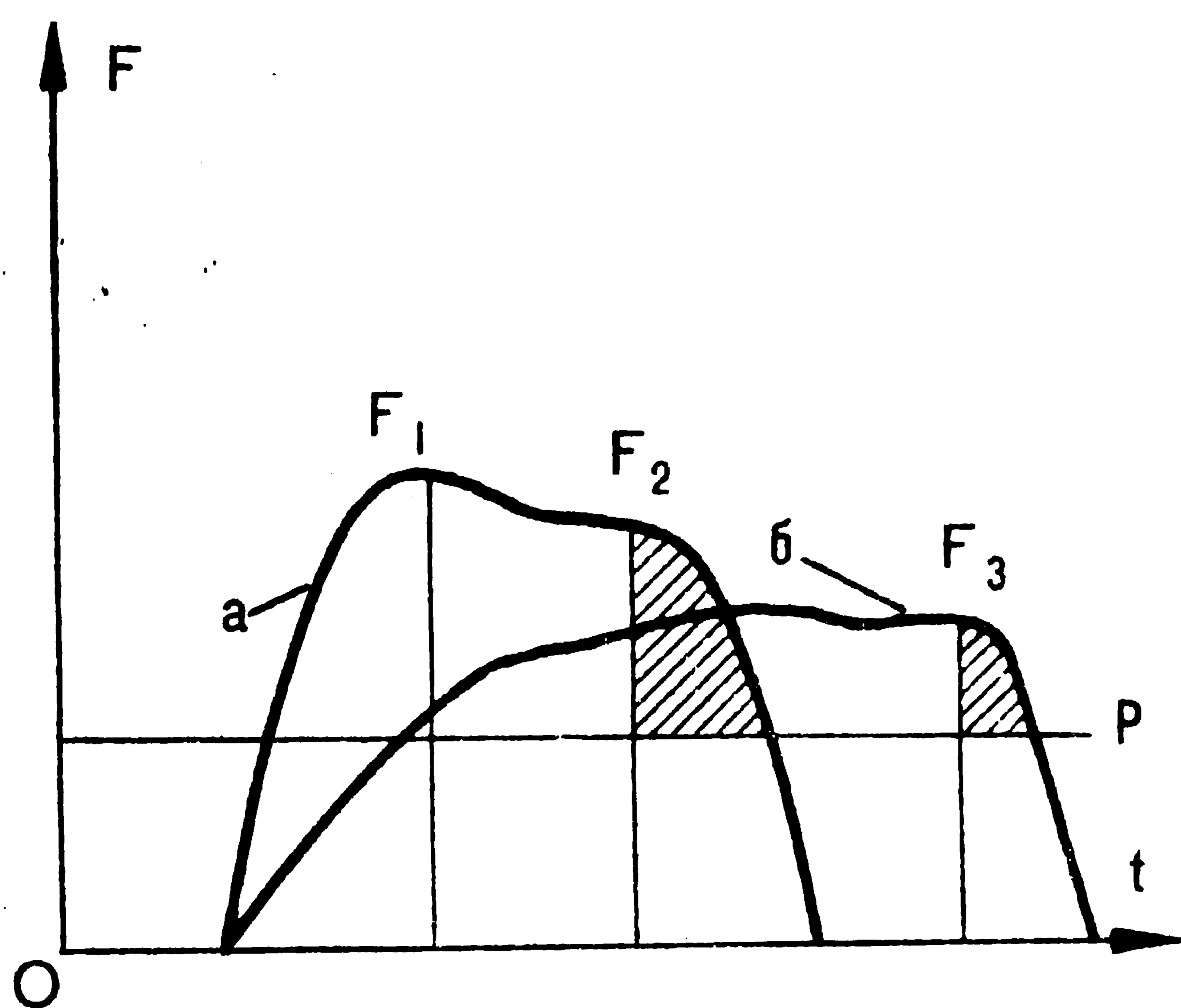


Рис. 83.

Импульс силы ( $F$ ) при отталкивании (заштрихован):

$a$  — быстром,  $b$  — более медленном;  $F_1$  — постановка ноги ударом;  $F_2$  и  $F_3$  — начало отталкивания;  $P$  — статический вес тела



силы дает больший прирост количества движения, т. е. больше увеличивает скорость.

Импульс переменной силы отталкивания равен площади между графиком силы по времени и горизонтальной линией, проведенной на уровне веса тела (рис. 83). Казалось бы, можно увеличивать эту площадь просто удлиняя время отталкивания. Однако искусственное замедление отталкивания уменьшит ускорения, силы инерции и силы тяги мышц. При замедленном отталкивании будет и медленное движение ОЦМ тела. Только естественное удлинение отталкивания ногой благодаря ускоренным маховым движениям увеличит время отталкивания и силу тяги мышц толчковой ноги, а значит, и импульс силы и ускорение ОЦМ.

В фазе торможения маховых звеньев их ускорения направлены к опоре, а силы инерции — от нее. Следовательно, нагрузка на мышцы толчковой ноги в это время уменьшается, их сила тяги падает, но быстрота сокращения увеличивается. Сокращаясь быстрее, они могут добавлять скорость в последние моменты отталкивания.

Так, маховые движения способствуют продвижению ОЦМ тела при отталкивании, увеличивают скорость ЦМ, увеличивают силу и удлиняют время отталкивания ногой и, наконец, создают условия для быстрого завершающего отталкивания.

#### 44.4. Направление отталкивания от опоры

Угол наклона динамической опорной реакции дает представление о некоторых особенностях направления отталкивания от опоры в данный момент времени.

При выпрямлении ноги во время отталкивания от опоры происходит сложение вращательных движений звеньев тела.

При паре угловых скоростей, когда оба звена движутся в противоположные стороны с одинаковой угловой скоростью, следующее за ними третье звено (или группа зафиксированных звеньев) движется поступательно относительно опоры. Но достаточно рассогласования названных угловых скоростей, чтобы и третье звено получило поворот относительно опоры.

По координатам ОЦМ тела человека за время отталкивания можно рассчитать линейное ускорение ОЦМ в каждый момент времени. Однако сопутствующие движения, в том числе маховые, обуславливают кроме линейного ускорения ОЦМ еще и угловые ускорения многих звеньев.

Поэтому угол отталкивания как угол наклона динамической составляющей реакции опоры характеризует не полностью общее направление отталкивания в каждый данный момент времени. Если бы существовала внешняя движущая сила отталкивания, то угол ее наклона к горизонту можно было бы считать углом отталкивания. Однако в самодвижущейся системе к каждому звену приложены силы, которые в совокупности определяют движения именно данного звена. Заменить всю систему множества сил, приложенных к разным звеньям, равнодействующей движущей силой в этом случае невозможно. Одной эквивалентной (равноценной) равнодействующей силы отталкивания



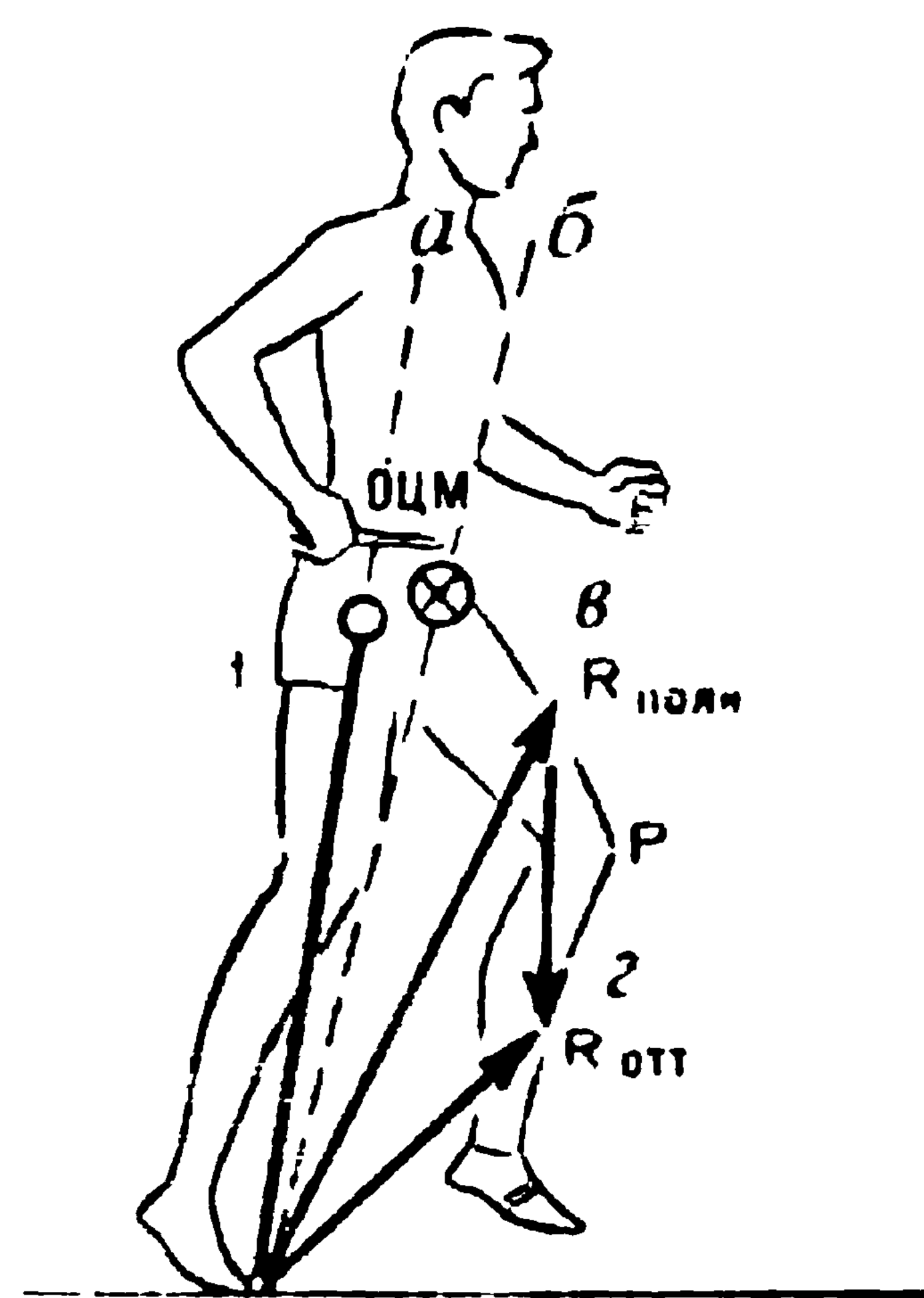
(приложенной к одной точке), которая могла бы вызвать различные сложные движения многих звеньев в разных направлениях, не существует. Именно поэтому предлагается лишь условно определять «угол отталкивания».

Угол наклона продольной оси толчковой ноги до некоторой степени характеризует направление отталкивания (рис. 84, а). Однако при одинаковой позе толчковой ноги можно действовать на опору больше вниз или больше назад благодаря различным вариантам усилий групп мышц. Иначе говоря, сама по себе поза не может определять однозначно направление отталкивания. Следует добавить, что предложение измерять таким способом угол «силы отталкивания» в момент отрыва толчковой ноги от опоры вообще лишено смысла: в этот момент сила отталкивания (сила давления на опору) равна нулю.

Угол наклона линий, соединяющей место опоры с ОЦМ (рис. 84, б), не может точно характеризовать направление отталкивания, так как закона, согласно которому линия действия силы реакции опоры должна проходить через ОЦМ, не существует<sup>1</sup>. Более того, практически не удастся выполнять отталкивание так, чтобы реакция опоры была направлена точно через ОЦМ; всегда регистрируются некоторые отклонения от этого направления.

Угол наклона общей реакции опоры (рис. 84, в) измеряют с помощью тензометрических устройств (платформа, стельки в обуви). Направление общей реакции опоры почти никогда не проходит через ОЦМ. Однако она оказывает противодействие силе, прижимающей тело к опоре, которое складывается из веса тела и сил инерции звеньев, движущихся с ускорением. Следовательно, можно определить отдельно реакцию на отталкивание, вызванную ускорением звеньев тела. Для этого из общей реакции опоры нужно вычесть ее статическую составляющую (реакцию на вес тела).

Угол реакции опоры на движения отталкивания (рис. 84, г) наиболее правильно характеризует направление отталкивания. Можно представить себе следующее: в результате всех движений отталкивания ОЦМ тела получает определенное ускорение. Если предположить, что масса всего тела сосредоточена в ОЦМ, то по массе и ускорению можно подсчитать условную эквивалентную «ускоряющую» силу. Она примерно равна реакции опоры на отталкивание и направлена как и последняя. Следует только учесть, что, во-первых, реакция отталкивания не проходит через ОЦМ и обуславливает стартовый (опрокидывающий назад) момент; во-вторых, неизвестная часть работы сил затрачивается на неучитываемые деформации (диссипация энергии при переменной суставной жесткости), поэтому



**Рис. 84.**  
Направление отталкивания от опоры, определенное по:  
а — оси толчковой ноги,  
б — направлению на ОЦМ,  
в — направлению общей реакции опоры,  
г — направлению реакции силы отталкивания

<sup>1</sup> Все расчеты в экспериментальных работах школы Н. А. Бернштейна по локомоциям строились на упрощенном предположении о том, что реакция опоры всегда проходит через общий центр тяжести тела; это не соответствует экспериментальным фактам.



реакция отталкивания и «ускоряющая» (расчетная) сила по величине будут отличаться друг от друга; в-третьих, как уже говорилось, реакция отталкивания — это не сила отталкивания.

Таким образом, так называемый угол отталкивания, каким бы способом его ни измеряли, не определяет полностью направления отталкивания. Надо всегда иметь в виду, что при отталкивании не только ОЦМ имеет определенное линейное ускорение, но и все звенья тела имеют угловые ускорения относительно ОЦМ.

Кроме того, нельзя забывать, что за время отталкивания все величины изменяются, какие бы углы ни измерялись. Значит, надо условиться, в какой именно момент измерять какой-либо условный угол (например, при максимуме всей реакции опоры на отталкивание либо при максимуме ее вертикальной составляющей или горизонтальной). Если отталкивание должно привести к последующему передвижению с наибольшей линейной скоростью ОЦМ при минимальном вращении тела, то необходимо, чтобы ускорения ОЦМ тела и всех ОЦМ звеньев имели возможно близкое к общему направление. Если же отталкивание должно усилить вращение тела (например, в акробатике), то необходимо наибольшее однонаправленное вращение звеньев тела и использование момента силы тяжести тела.

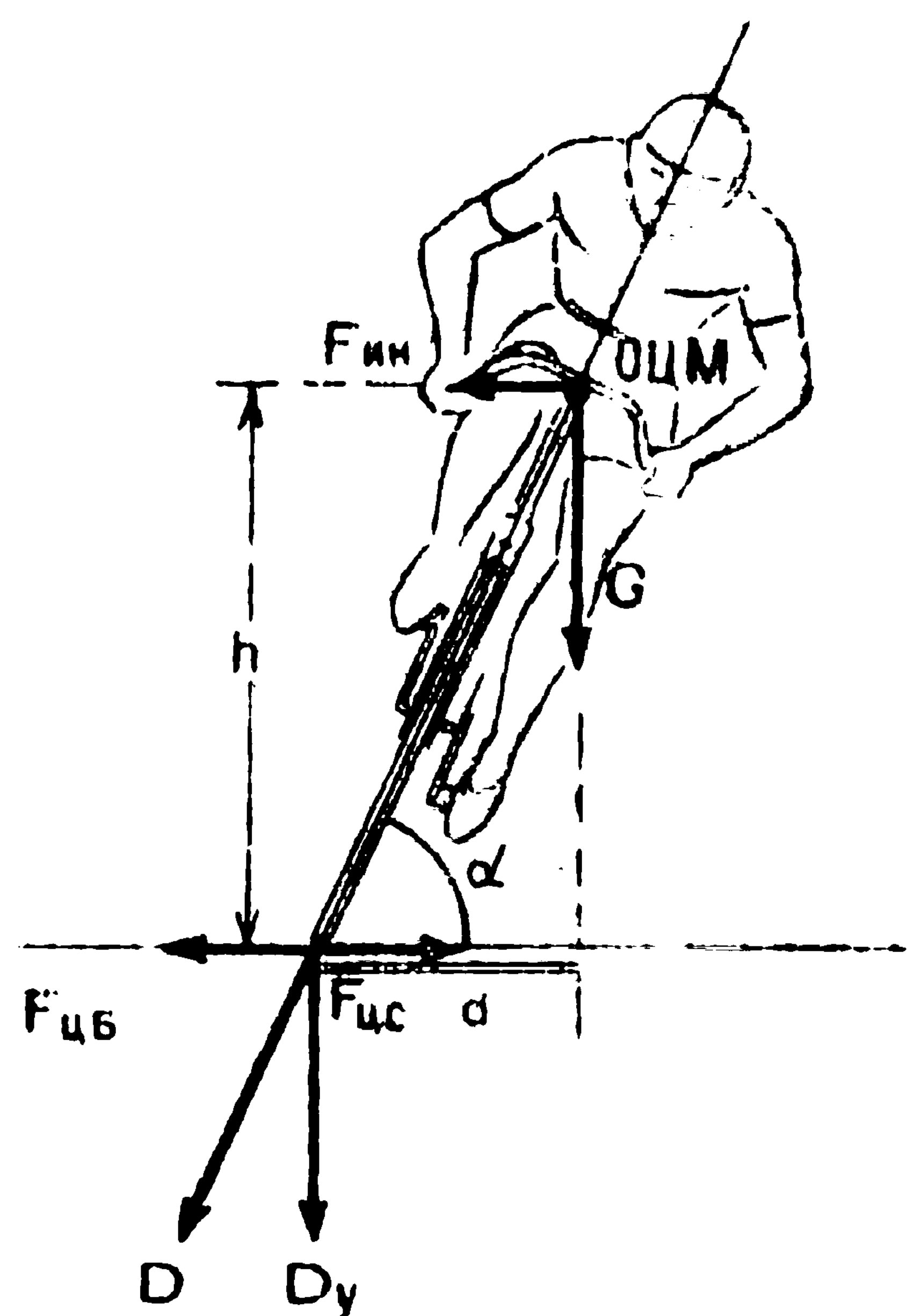


Рис. 85.

Силы, приложенные при движении по повороту

При движении по повороту в наземных локомоциях спортсмен находится в наклоне внутрь поворота. Прижимающая сила  $D$ , приложенная к опоре под острым углом ( $\alpha$ ), может быть разложена на вертикальную составляющую ( $D_y$ ) и горизонтальную составляющую ( $D_x$ ), направленную по радиусу от центра поворота (рис. 85). Противодействие последней и есть центростремительная сила ( $F_{цс}$ ), вызывающая центростремительное ускорение и искривляющая траекторию в движении по повороту. В инерциальной системе отсчета (Земля) центробежная сила — реальная сила инерции ( $F_{ин}$ ) — и есть уже названная составляющая прижимающей силы, приложенная к опоре. В неинерциальной системе отсчета (тело спортсмена) центробежная сила — фиктивная сила инерции ( $F_{ин}$ ) — приложена к ОЦМ. Она образует относительно опоры момент силы ( $F_{ин} h$ ), который уравнивает момент силы тяжести ( $Gd$ ). Угол наклона тела ( $\alpha$ ) зависит от соотношения силы тяжести ( $G = mg$ ) и центробежной силы ( $F_{цб} = \frac{mv^2}{r}$ ):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G}{F_{цб}} = \frac{mgr}{mv^2} = \frac{gr}{v^2},$$

где  $r$  — радиус кривизны поворота,  $v$  — линейная скорость тела.

## § 45. Шагательные движения

Шагательные движения в наземных локомоциях имеют широкое распространение. В кинематике и динамике ходьбы, бега, лыжного хода и др. можно обнаружить общие основы. Однако эти движения



имеют и значительные различия, вызванные приспособлениями к условиям передвижения.

Шагательные движения характеризуются попеременной активностью ног с чередованием отталкивания и переноса каждой ноги. Эти движения отличаются строгой слаженностью и соответствием строению тела.

#### 45.1. Элементы шагательных движений

В шагательных движениях каждая нога поочередно бывает опорной и переносной. В опорный период входят амортизация и отталкивание, в переносной — разгон и торможение (рис. 86).

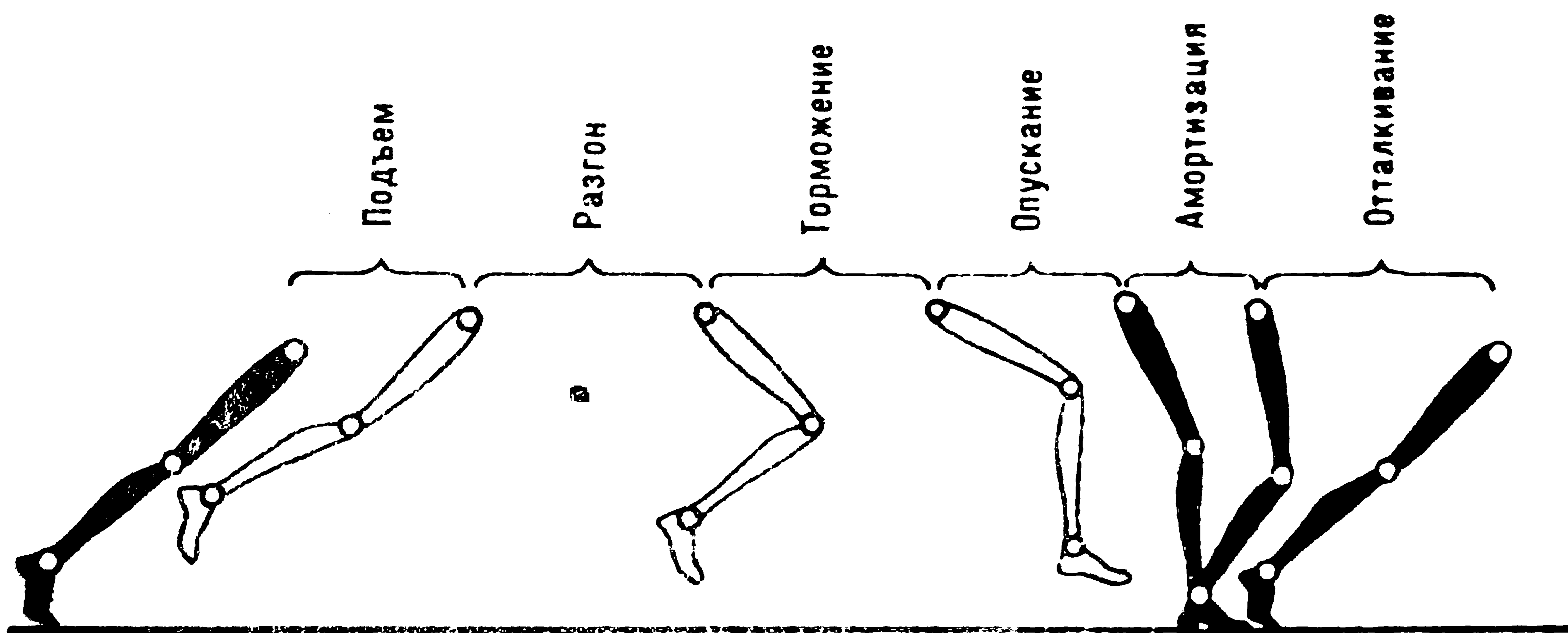


Рис. 86.

Шагательные движения.

светлый контур — перенос, темный — опора

Отталкивание как основа шагательных движений неразрывно связано с подготовкой к нему, с амортизацией. Вместе они составляют периоды опоры, когда нога имеет контакт с опорой и находится под действием веса и силы инерции тела.

Амортизация заключается в торможении движения тела по направлению к опоре. Она начинается с постановки ноги на опору. Происходит уступающее движение, мышцы растягиваются, совершая отрицательную работу, и уменьшают скорость движения тела вниз. К концу амортизации вертикальная составляющая скорости ОЦМ тела падает до нуля, опускание вниз прекращается. Горизонтальная же составляющая скорости за это время уменьшается, но тело не останавливается, а продолжает, хотя и замедленно, движение вперед. Амортизация заканчивается в момент прекращения движения ОЦМ тела вниз. Наиболее точно этот момент можно было бы установить по движению ОЦМ тела, но существующие методы определения положения ОЦМ громоздки, не очень точны.

Определить момент окончания амортизации более точно можно по динамограмме давления на опору, когда оно максимально. Практически окончанием амортизации принято условно считать момент наибольшего сгибания опорной ноги в коленном суставе. Условность



вызвана тем, что амортизация достигается не только движением в коленном суставе, имеют место движения звеньев вниз и в других суставах. Амортизационное разгибание (тыльное) в голеностопном суставе обычно заканчивается несколько позже амортизации в коленном суставе, однако нередко бывает наоборот: стопа начинает отталкивание раньше разгибания ноги в коленном суставе.

Началом отталкивания условно считают момент разгибания опорной ноги в коленном суставе. К этому движению присоединяется подошвенное сгибание стопы в голеностопном суставе. В это время все еще продолжается уступающее разгибание в плюснефаланговых суставах стопы, которое перед отрывом от опоры сменяется преодолевающим подошвенным сгибанием.

В момент начала опоры может начаться и активное разгибание бедра опорной ноги в тазобедренном суставе. Это движение создает так называемый активный перекал — своего рода подтягивание тела вперед к стопе, имеющей опору еще впереди него. Значит, данное движение также способствует отталкиванию. Величина этой тяги относительно мала, но все же уменьшает тормозящее воздействие опоры (меньше потеря горизонтальной скорости тела). Окончанием отталкивания считают момент отрыва стопы от опоры. Однако, судя по динамограммам, воздействие стопы с опорой прекращается несколько раньше, чем регистрируется потеря контакта с опорой. При амортизации горизонтальная скорость обычно уменьшается, а при отталкивании — увеличивается. Если потеря скорости тела и ее восстановление в каждом шаге одинаковы, то средняя скорость передвижения от шага к шагу остается постоянной. Преобладание потери или восстановления скорости приводит соответственно к замедлению или убыстрению передвижения.

После опорного периода наступает период переноса. Нога движется вперед сначала ускоренно, а затем замедленно — разгон и торможение. Кроме этого, после отрыва от опоры нога поднимается сзади, отставая от таза; после же торможения выноса вперед она опускается вниз и назад (относительно таза) на опору. В связи с этим кроме разгона и торможения рассматривают еще подъем и опускание ноги.

Подъем ноги назад начинается с момента ее отрыва от опоры и заканчивается моментом начала ее движения вперед (относительно таза). Границей между подъемом ноги назад и ее разгоном вперед можно считать наибольший угол наклона бедра назад относительно вертикали. Поднимание ноги сзади происходит вследствие разности скоростей: у таза, которому толчковая нога сообщила движение вперед, она больше, а у нижних звеньев толчковой ноги, которые, отталкивая остальные части тела, имеют малую скорость относительно опоры, меньше. Происходит перераспределение скоростей, при котором нога сначала отстает от таза и поднимается за ним вверх.

Разгон ноги начинается со сгибания бедра в тазобедренном суставе и заканчивается в момент наибольшей скорости ЦМ переносной ноги. Происходит разгон махового движения со всеми его особенностями, о которых уже упоминалось (см. стр. 175).

Торможение ноги начинается в момент наибольшей скорости ее



ЦМ и заканчивается в крайнем положении бедра впереди и вверху. Это торможение махового движения, об особенностях которого уже говорилось.

Опускание ноги на опору начинается с момента крайнего положения бедра впереди и вверху и заканчивается в момент постановки стопы на опору.

#### 45.2. Сопутствующие движения туловища и рук

В передвижениях циклического характера движениям ног обычно соответствуют маховые движения рук, согласованные по принципу перекрестной координации всех четырех конечностей. Вблизи крайних положений рук и ног в переднезаднем направлении мышцы-антагонисты, растягиваясь и напрягаясь, тормозят движения. Кинетическая энергия звеньев превращается в потенциальную упругую энергию мышц. Упругие силы, остановив движения, помогают начать их в обратном направлении (упругая отдача). В быстрых движениях динамика упругой отдачи выражена значительнее, чем в медленных.

В зависимости от способа шагательного перемещения и темпа шагов туловище и таз в большей или меньшей степени движутся относительно всех трех осей (наклоны вперед и назад, наклоны в стороны, повороты вокруг вертикальной оси). Движения туловища и таза относительно пояса верхней конечности динамически связаны с движениями ног и рук. Наклон таза вперед и туловища назад приходится на завершающую часть отталкивания ногой. Возвратные движения таза и туловища совершаются в период между двумя отталкиваниями ногами. Опускание таза и туловища в сторону маховой ноги происходит во время опоры на другую ногу, к концу амортизации, а возвратные движения — во время завершения отталкивания. Наконец, повороты таза вокруг вертикальной оси тазобедренного сустава опорной ноги к концу шага увеличивают длину шага (кинематический фактор).

#### 45.3. Скорость, длина, частота и ритм шагов

Скорость шагательных движений измеряется отношением пути к времени, затраченному на этот путь. Путь в каждом шаге — его длина ( $l$ ), время — величина, обратная темпу ( $\Delta t = \frac{1}{N}$ ). Скорость передвижения численно равна длине шага, умноженной на частоту шагов ( $v = l \cdot n$ ). Если длину шага выразить в метрах, темп — в количестве шагов в 1 с, то скорость будет измеряться в м/с. Так как в ряду последующих шагов длина и частота их не бывают постоянными, для расчета обычно берут средние величины на измеренном участке пути.

Соотношение длины и частоты шагов в различных способах передвижения неодинаковы. Но существуют общие закономерности: с увеличением частоты шагов усиливается отталкивание, растет длина шагов и повышается скорость. Скорость растет вследствие одновременного увеличения длины и частоты шагов. После некоторого предела становится невозможным дальнейшее одновременное увеличение частоты и длины шагов. При увеличении одного из этих компонентов



другой начинает уменьшаться. Такие соотношения позволяют увеличивать скорость до тех пор, пока относительное снижение одного компонента не превысит относительного повышения другого, после чего скорость шагательного перемещения начинает падать.

Оптимальная скорость шагательных движений зависит от длины дистанции и подготовленности данного спортсмена. Этой оптимальной (соревновательной) скорости соответствуют оптимальные длина и частота шагов. Они имеют индивидуальный характер, поскольку во многом зависят от пропорций тела.

Ритм шагов (как соотношение длительностей разных движений) есть результат точного дозирования мышечных усилий: их своевременности, длительности, величины, а также быстроты их изменения. Наиболее четко определяемые показатели ритма — это соотношения длительности опоры — переноса, амортизации — отталкивания, разгона — торможения, скольжения (лыжи) — стояния, полета (в беге) — опоры и т. п. Различные показатели ритма шагов раскрывают распределение усилий, позволяют выявить согласование усилий и самих движений, искать и находить оптимальные ритмы.

## **§ 46. Стартовые действия**

Стартовые действия обычно направлены на то, чтобы начать передвижение и быстро увеличить скорость. Стартовыми действиями начинается преодоление всех дистанций, а также передвижения в единоборствах, спортивных играх и других группах видов спорта.

### **46.1. Стартовые положения**

**С т а р т о в ы е п о л о ж е н и я** — это исходные позы для последующего передвижения, которые обеспечивают лучшие условия развития стартового ускорения. Стартовые действия (при старте с места) начинают из стартового положения. Оно обычно определено правилами соревнований и соответствует биомеханическим требованиям, вытекающим из задач старта.

Стартовое положение обеспечивает возникновение с первым движением ускорения ОЦМ тела в заданном направлении. Для этого проекция ОЦМ тела на горизонтальную поверхность приближена к передней границе площади опоры. При прочих равных условиях выдвижение ОЦМ тела вперед и более низкое его положение увеличивают горизонтальную составляющую начальной скорости. Так, в низком старте для бега угол начальной скорости ОЦМ тела меньше, чем в высоком.

Суставные углы в стартовом положении должны отвечать индивидуальным особенностям соотношения рычагов, силовой подготовленности спортсмена и условиям стартового действия. Расположение всех звеньев тела зависит от условия стартового действия.

### **46.2. Стартовые движения**

**С т а р т о в ы е д в и ж е н и я** — это первые движения из стартового положения, которые обеспечивают прирост скорости и переход к последующему стартовому разгону.



При старте ОЦМ тела спортсмена имеет ускорение, обусловленное мышечными усилиями. Как внутренние силы, они направлены в противоположные стороны: вперед — ускоряя подвижные звенья, назад — прижимая опорные звенья к опоре. Для объяснения «стартовой силы» Н. А. Бернштейн предложил перенести реакцию опоры за вычетом веса тела в ОЦМ. Это можно сделать лишь допустив условно, что биомеханическая система тела человека отвердела, а реакция опоры играет роль внешней движущей силы (рис. 87). Перенесенная сила здесь условно рассматривается как стартовая сила ( $S$ ), вызывающая стартовое ускорение ОЦМ. По правилу приведения силы к заданной точке надо при переносе силы в ОЦМ прибавить пару сил ( $R$  и  $S'$ ), которая создает стартовый момент. Его действие направлено на уменьшение наклона тела (например, у спринтера в стартовом разгоне). Уже говорилось, что сама опорная реакция, как и реакция связи, положительной работы не совершает. Стартовая сила и момент — это только условные меры воздействия, которое вызывает сложное движение всей биомеханической системы.

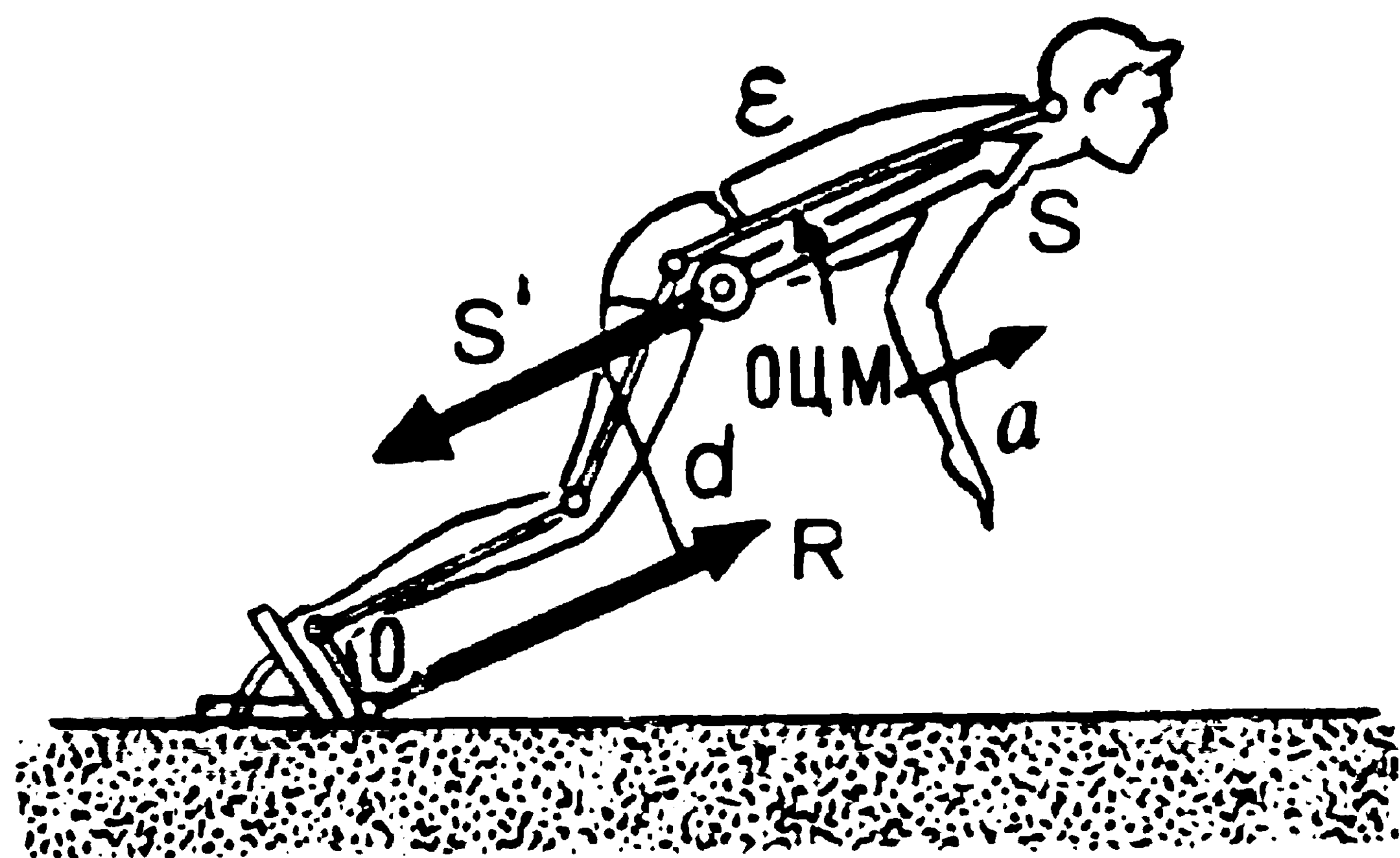


Рис. 87.

Стартовая сила ( $S$ ) и ее момент ( $S'd$ ) (по Н. А. Бернштейну)

### 46.3. Стартовый разгон

**Стартовый разгон** обеспечивает увеличение скорости до такой, какая требуется для передвижения по дистанции. В спринтерских дистанциях за время стартового разгона скорость увеличивают до максимальной. В связи с этим разгон в спринте осуществляется дольше и на большем расстоянии, чем на более длинных дистанциях, где задача разгона — достижение только оптимальной для данной дистанции скорости, и поэтому необходимая скорость достигается на первых же шагах. В стартовом разгоне от цикла к циклу происходит изменение системы движений от стартовых до оптимальных для заданной скорости. В беге, например, это проявляется в увеличении длины шагов и уменьшении общего наклона тела. Все стартовые действия отличаются частными особенностями движений, зависящими от вида локомоций.

### ВИДЫ СПОРТИВНЫХ ЛОКОМОЦИЙ

Разбор видов локомоций помогает понять основы биодинамики передвижений спортсмена в движениях ациклического характера (прыжки) и циклического: с фиксированной опорой (ходьба и бег), со скольжением (лыжный ход), в водной среде (плавание), а также с механическим преобразованием движений на опоре (велосипед) и на воде (академическая лодка).



## § 47. Биодинамика прыжка

В прыжках расстояние преодолевается полетом. При этом достигается либо наибольшая длина прыжка (прыжок в длину с разбега, тройной прыжок), либо наибольшая высота (прыжок в высоту с разбега, прыжок с шестом), либо значительная и длина и высота (опорный прыжок в гимнастике). Траектория ОЦМ тела спортсмена в полете определяется формулами:

$$l = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$h = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

где  $l$  — длина и  $h$  — высота траектории ОЦМ (без учета его высоты в моменты вылета и приземления),  $v$  — начальная скорость ОЦМ в полете,  $\alpha$  — угол наклона вектора скорости к горизонтали в момент вылета и  $g$  — ускорение свободно падающего тела. Как видно из формул, особенно важны величина начальной скорости ОЦМ и угол его вылета. Начальная скорость ОЦМ создается при отталкивании, а также при подготовке к нему. Таким образом, в спортивных прыжках различается подготовка к отталкиванию, отталкивание от опоры, полет и амортизация (после приземления)<sup>1</sup>. В подготовку входят разбег и подготовительные движения на месте отталкивания. Биодинамику основных действий в прыжке целесообразно рассмотреть на примере прыжка в длину с разбега, сравнивая ее, где необходимо, с биодинамикой прыжка в высоту.

### 47.1. Разбег

В разбеге решаются две задачи: создание необходимой скорости к моменту прихода на место отталкивания и создание оптимальных условий для опорного взаимодействия. В прыжках в длину добиваются наибольшей скорости разбега (сильнейшие мужчины свыше 10 м/с) примерно за 40—50 м, за 19—24 беговых шага. Перед постановкой толчковой ноги на место отталкивания последние шаги изменяются: несколько шагов удлиняются, что снижает положение ОЦМ, а последний шаг делается быстрее и обычно короче. В прыжках в высоту не нужна большая горизонтальная скорость, разбег короче (7—9 беговых шагов) при меньшей скорости. На место отталкивания нога ставится стопорящим движением. Это уменьшает горизонтальную скорость и увеличивает вертикальную, позволяет занять исходное положение при оптимально согнутой толчковой ноге, достаточно растянутых и напряженных ее мышцах, целесообразном расположении ОЦМ и необходимой скорости завершения разбега.

---

<sup>1</sup> В биомеханике приземлением называется момент касания опоры, а не последующие действия (амортизация).



## 47.2. Отталкивание

Отталкивание от опоры в прыжках совершается за счет выпрямления толчковой ноги, маховых движений рук и туловища. Задача отталкивания — обеспечить максимальную величину вектора начальной скорости ОЦМ и оптимальное ее направление. После отталкивания, в полете, тело спортсмена всегда совершает движения вокруг осей. Поэтому в задачи отталкивания входит также и начало управления этими движениями.

С момента постановки ноги на опору начинается амортизация — подседание на толчковой ноге. Мышцы-антагонисты растягиваются и напрягаются, углы в суставах становятся близкими к рациональным для начала отталкивания. ОЦМ тела приходит в исходное положение для начала ускорения отталкивания (удлинение пути ускорения ОЦМ). Пока происходит амортизация (сгибание ноги в коленном суставе) и место опоры находится еще впереди ОЦМ, спортсмен, активно разгибая толчковую ногу в тазобедренном суставе, уже активно помогает продвижению тела вперед (активный пережат).

В течение амортизации горизонтальная скорость ОЦМ снижается, во время отталкивания создается вертикальная скорость ОЦМ. К моменту отрыва ноги от опоры обеспечивается необходимый угол вылета ОЦМ (табл. 9).

Выпрямление толчковой ноги и маховые движения, создавая ускорения звеньев тела вверх и вперед, вызывают их силы инерции, направленные вниз и назад. Последние вместе с силой тяжести обуславливают динамический вес — силу действия на опору и вызывают соответствующую реакцию опоры. На вектор-динамограмме силы действия

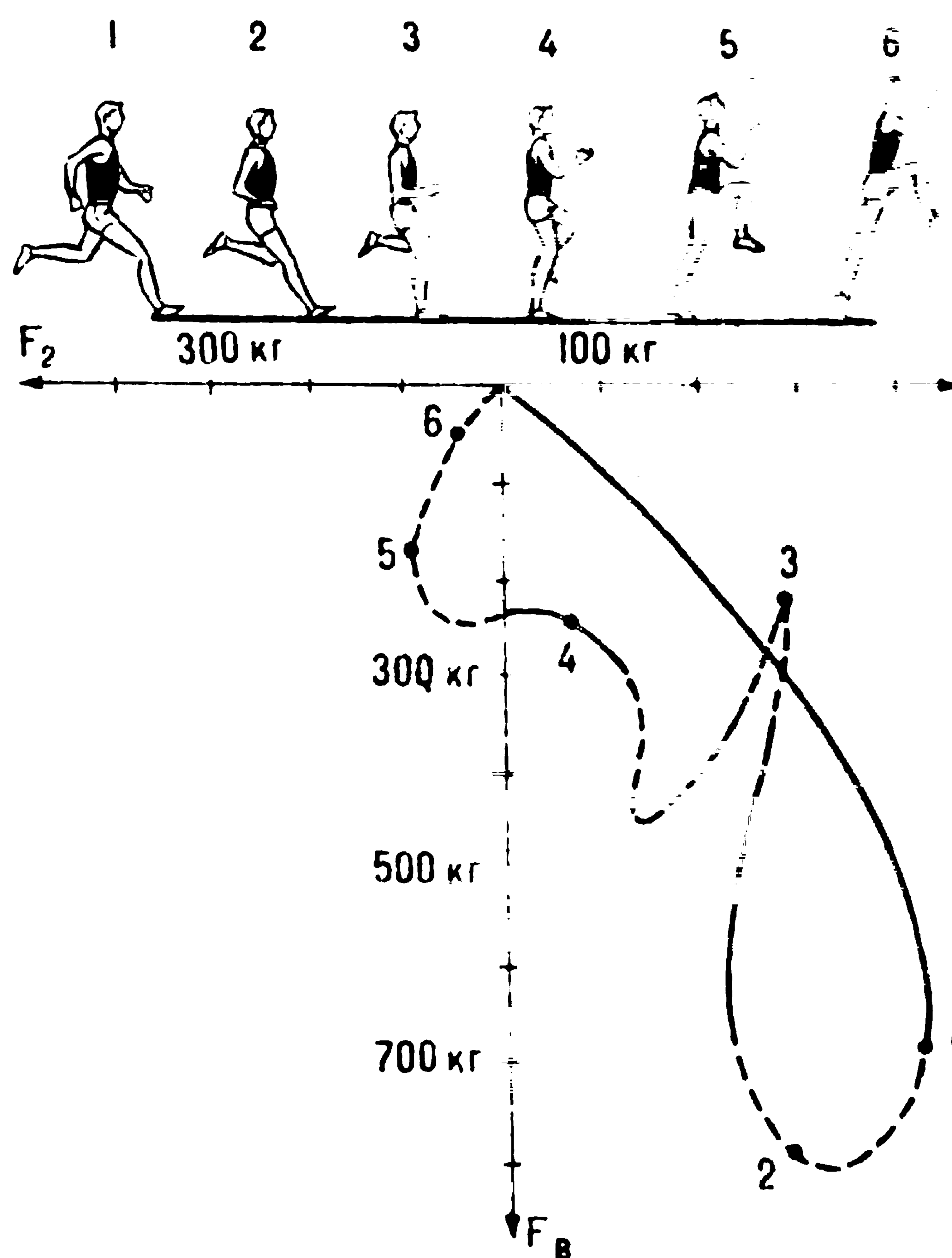


Рис. 88.

Вектор-динамограмма отталкивания при прыжке в длину (по И. П. Ратову и В. Н. Муравьеву)

Таблица 9

Кинематические характеристики прыжка в длину с разбега (по В. Б. Попову)

Фамилия спортсмена	Результаты, м	Скорость разбега, м/с	Угол вылета, град.	Угол постановки ноги, град.	Угол сгибания ноги в коленном суставе, град.	Время отталкивания, м/с	Высота прыжка, м
Бостон	8,28	10,5	20	66	41	120	0,53
Тер-Ованесян	8,37	10,4	22	65	37	115	0,62
Бимон	8,90	10,7	24	63	39	110	0,75



на опору (рис. 88) видно, что отталкивание вперед происходит только в последние сотые доли секунды; основные усилия прыгуна направлены на отталкивание вверх, чтобы получить необходимый для длинного прыжка большой угол вылета ОЦМ.

В прыжках в высоту по сравнению с прыжками в длину усилия направлены на обеспечение наибольшей вертикальной скорости, стопорящее движение более значительно (более острый угол постановки ноги), задачи уменьшения потерь горизонтальной скорости нет.

### 47.3. Полет

В полете траектория ОЦМ predetermined величиной и направлением вектора начальной скорости ОЦМ (углом вылета). Движения представляют собой движения звеньев вокруг осей, проходящих через ОЦМ. Задача сводится к возможно более дальнему приземлению, удерживая стопы как можно выше. Кроме того, существенно важно продвижение тела вперед после приземления. Спортсмены стремятся к моменту приземления поднять выше вытянутые вперед ноги и отвести руки назад: это обуславливает возможность после приземления рывком рук вперед с последующим разгибанием продвинуться вперед от места приземления.

## § 48. Биодинамика бега

Бег можно схематически рассматривать как непрерывный ряд прыжков вперед с одной ноги на другую. Однако поскольку цель бега — обеспечить высокую скорость продвижения, к механизму шагательных движений предъявляются иные требования, чем в прыжках.

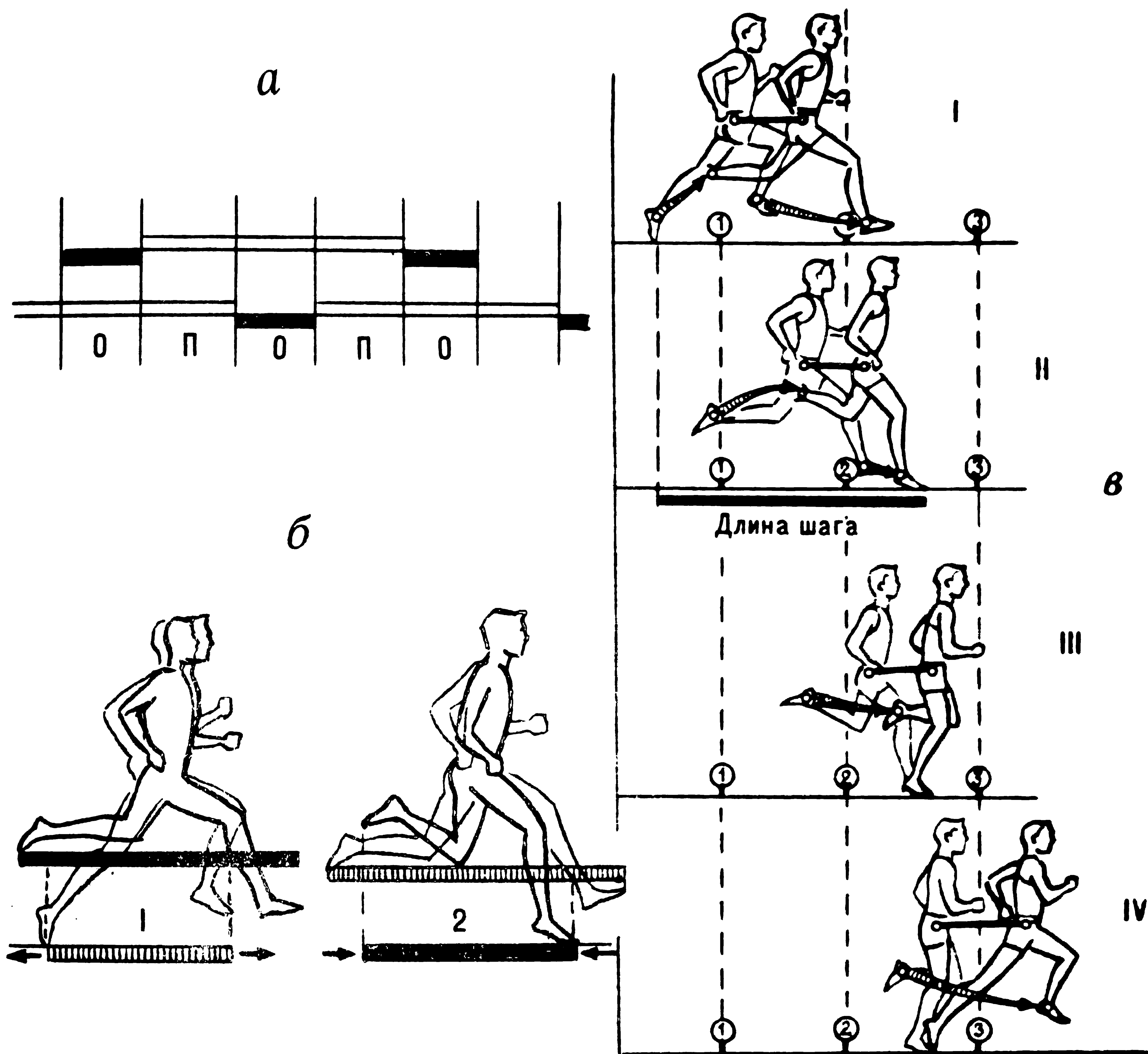
В повторяющихся шагах время переноса каждой ноги намного больше, чем время ее опоры. Вследствие этого бег состоит из периодов полета и периодов опоры (рис. 89, а). В полете горизонтальная скорость ОЦМ тела может лишь незначительно снижаться из-за сопротивления воздуха. В опоре она сначала снижается при тормозящем действии реакции опоры (ее горизонтальной составляющей), а потом вновь повышается благодаря движениям отталкивания (выпрямление опорной ноги и мах переносной ногой). Поскольку скорость бегуна зависит от длины и частоты шагов, изменение ее зависит от управления обоими ее компонентами. В спринте у спортсменов высокой квалификации ведущее значение приобретает темп, учащение шагов.

### 48.1. Полет

В полете, после отрыва толчковой ноги от опоры, стопы обеих ног движутся относительно таза разнонаправленно. Стопа передней ноги выносится вперед со сгибанием бедра и голени, стопа же задней (бывшей толчковой) ноги отстает от таза, так как она выпрямляется полностью уже в полете, и бедро ее отводится назад. В результате происходит **р а з в е д е н и е с т о п** в полете (фаза I) до наибольшего



расстояния между ними (рис. 89, б). Разгон бедра выносимой вперед ноги сменяется его торможением, а сгибание голени в коленном суставе — разгибанием, «выхлестом» ее вперед (рис. 90). Движения ног в полете не изменяют горизонтальной скорости ОЦМ тела, но туловище из-за преобладания энергии выноса одной ноги вперед над энергией отставания другой ноги сзади получает некоторое торможение.



**Рис. 89.**

Движения в полете при беге:

*а* — соотношение периодов полета (п) и опоры (о); *б* — разведение (1) и сведение (2) стоп; *в* — длина бегового шага и направления движений стоп (в фазах I—IV)

Далее, после наибольшего разведения стоп (рис. 91), начинается их сведение (фаза II) вследствие выноса задней ноги вперед и ускоренного опускания стопы передней ноги вниз (относительно таза) и назад. Сведение стоп происходит при встречных (относительно таза) скоростях стоп. Поэтому фаза II может существенно укорачиваться, сокращая время полета в целом. Это повышает частоту шагов. Увеличение скорости махового выноса ноги вперед обеспечивает



энергичный мах ногой в опорном периоде. Повышение скорости опускания ноги на опору не только сокращает время полета, но и обеспечивает более близкое к вертикали положение ноги при постановке на опору (уменьшение стопорящего воздействия опоры по горизонтали).

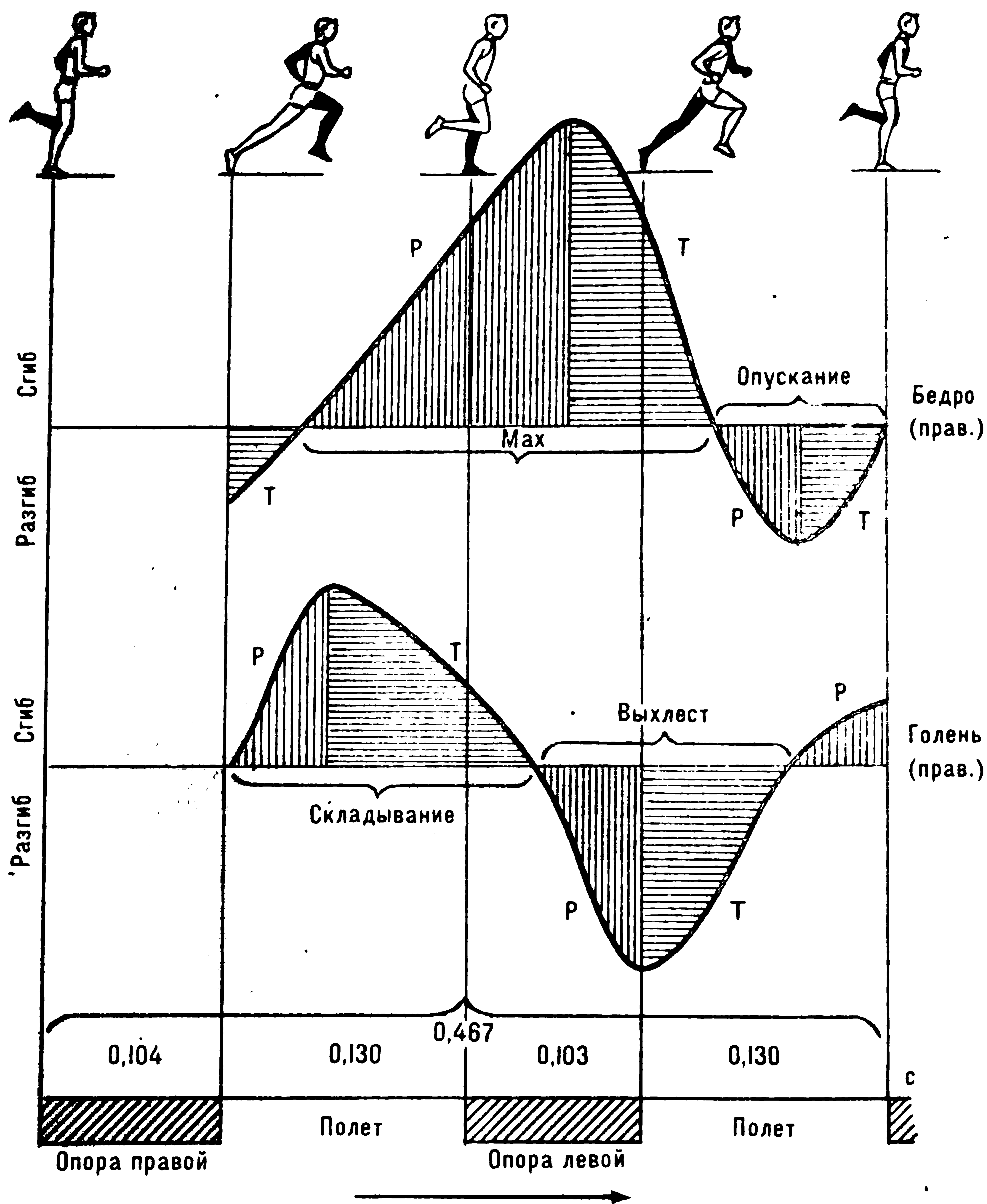


Рис. 90.

Скорости махового выноса и опускания ноги в беге:  
Р — разгон, Т — торможение (по В. В. Тютце)



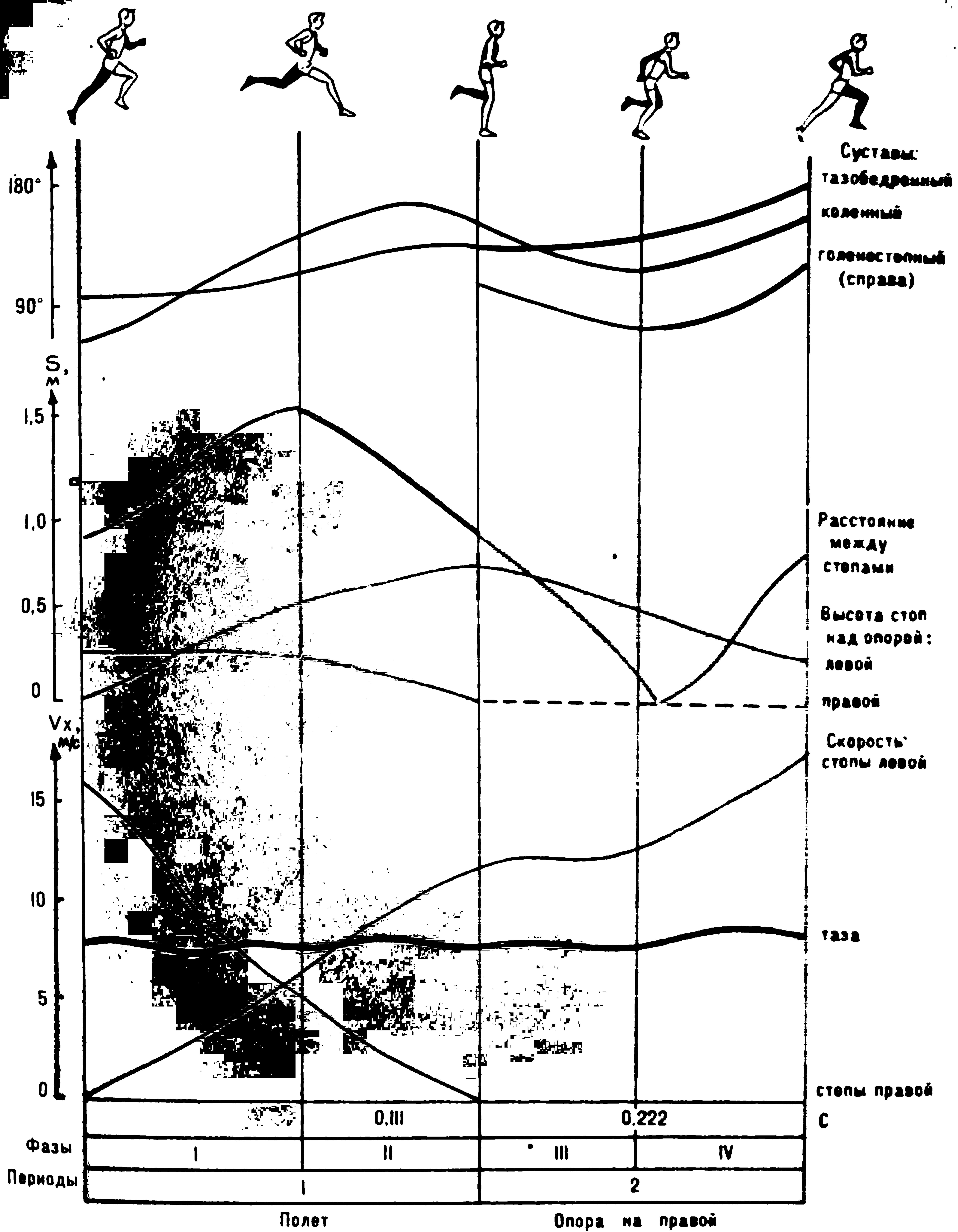


Рис. 91.

Фазы бега:

I — разведение стоп, II — сведение стоп, III — подседание на опорной ноге, IV — выпрямление ноги (по Х. Х. Гроссу и В. П. Жулину)



## 48.2. Взаимодействие с опорой

С момента постановки ноги на опору начинается период опоры, его первая фаза — **подседание** (фаза III). Происходит амортизация движений ОЦМ тела по вертикали вниз и неизбежное торможение его по горизонтали. Здесь имеют место не только стопорящее действие опоры, но и потери скорости опорной ноги относительно продвигающегося вперед тела. Постановка ноги с большей скоростью, направленной назад («под себя»), может снизить потери скорости всего тела при опоре, возместить потери энергии от остановки ноги на опоре.

Начало разгибания опорной ноги в коленном суставе после подседания служит началом следующей фазы периода опоры (фаза IV) — отталкивания с выпрямлением опорной ноги до отрыва ее стопы от опоры. Эта фаза завершает один беговой шаг. Полный цикл бега включает два шага, так как перенос ноги от опоры в одном месте до опоры в другом месте длится и на протяжении значительной части второго шага.

## 48.3. Бег на разные дистанции

При сохранении общего построения (деление на фазы и их взаимодействие) бег с разной скоростью имеет существенные различия в длине, частоте шагов, их ритме, кинематических и динамических характеристиках.

Средняя скорость бега с увеличением дистанции, естественно, уменьшается: в беге на 100 м — около 10 м/с, а в марафонской дистанции меньше примерно в 2 раза — около 5 м/с. Длина шага в зависимости от дистанции изменяется незначительно (приблизительно на 100 м — 2,20, на 200 м — 2,10 м, на 5000 м — 2,05 м), а частота шагов намного существеннее (соответственно 4,30, 3,60 и 2,80 шага в секунду). В достижении высокой частоты шагов большую роль играют безопорные фазы полета, активность сведения стоп в полете.

Соотношение длительности периодов опоры и полета, естественно, изменяется, но не в очень больших пределах: в спринте 0,46, а в беге на 5000 м — 0,53. Время опоры почти в 2 раза короче, чем время полета, причем это более резко проявляется в спринте.

Соотношение длительности фаз подседания и отталкивания изменяется особенно значительно: 100 м — 0,57; 400 м — 0,89; 5000 м — 1,39.

В быстром беге подседание короче, чем в беге на длинные дистанции, что связано с большей жесткостью постановки ноги при значительном напряжении мышц и коротком пути амортизации. Фаза же отталкивания на разных дистанциях различается по длительности не так значительно.

## § 49. Биодинамика ходьбы

Ходьба, как и скользящий шаг на лыжах и коньках, отличается от прыжка и бега тем, что не имеет периодов полета. Так как время опоры каждой ноги короче, чем время переноса, в каждом шаге возникает период двойной опоры (рис. 92): переносная нога уже



поставлена на опору, а толчковая еще не отделилась от нее. В спортивной ходьбе при большей скорости передвижения, чем в обычной ходьбе, период двойной опоры сокращен до минимума. С повышением частоты шагов спортивная ходьба может переходить в бег — двойная опора сменяется полетом.

## 49.1. Одиночная опора

После отрыва стопы толковой ноги от опоры тело спортсмена опирается только на другую, ранее перенесенную ногу. Бывшая же толчковая нога становится переносной и выносится вперед. До момента, пока носки стоп не поравняются, происходит задний шаг (фаза I), при котором тело спортсмена продвигается вперед к впереди стоящей ноге. ОЦМ тела движется вперед по инерции, хотя возможно и некоторое «подтягивание» тела разгибателями бедра опорной ноги в тазобедренном суставе и выносом переносной ноги вперед. В это время горизонтальная составляющая реакции опоры направлена назад, что обуславливает снижение скорости тела. Нога, ранее поставленная на опору, при этом частично утрачивает свою скорость, что также сказывается на скорости ЦМ всего тела.

Переносная нога, после того как носки стоп поравнялись (по горизонтали), выносится далее вперед к новому месту опоры — передний шаг (фаза II). В это время продолжается активное разгибание бедра опорной (толковой) ноги в тазобедренном суставе, что более всего продвигает тело спортсмена вперед. В спортивной ходьбе переносная нога ставится на опору и остается в течение всего времени опоры разогнутой или слегка согнутой в коленном суставе. Поэтому коленный сустав в отталкивании не участвует. Отталкивание от опоры выполняется за счет подошвенного сгибания стопы и поворота таза вперед в тазобедренном суставе опорной ноги (особенно при спортивной ходьбе).

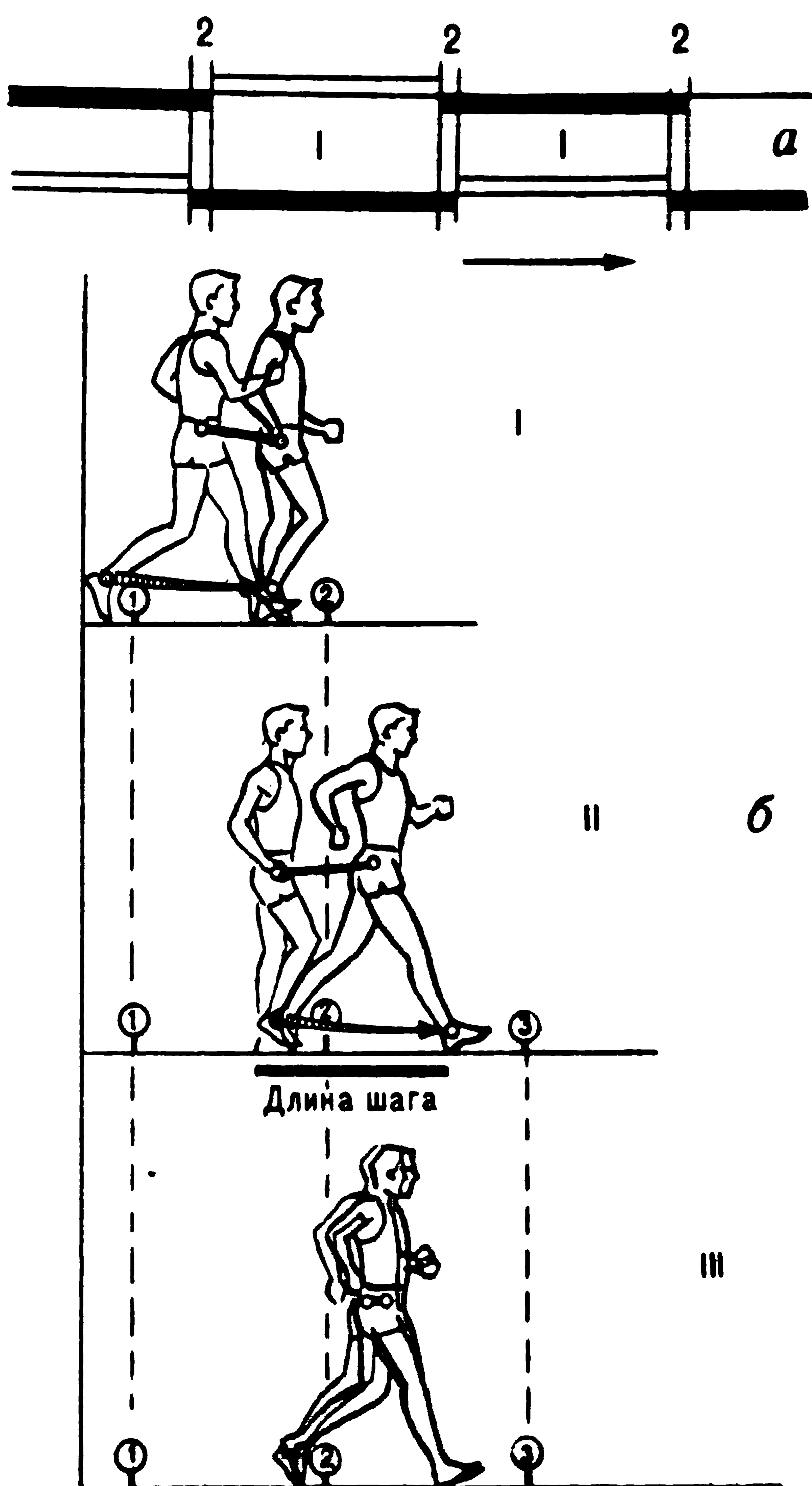


Рис. 92.

Периоды и фазы в спортивной ходьбе:

*a* — периоды одиночной (1) и двойной (2) опоры; *б* — фазы: I — задний шаг, II — передний шаг, III — переход опоры



## 49.2. Двойная опора

Двойная опора начинается с постановки стопы переносной ноги на опору и завершается отрывом стопы толчковой ноги от опоры (фаза III). В течение этого перехода опоры (с ноги сзади стоящей на ногу впереди стоящую) в спортивной ходьбе происходит в основном торможение продвижения тела вперед, которое продолжается и в фазе I последующего шага во время одиночной опоры (задний шаг). Во время перехода опоры начинается движение сзади стоящей опорной ноги вперед сгибанием ее в тазобедренном и коленном суставах; при этом она уже не отталкивает тело вперед.

С началом опоры на другую опорную ногу происходит амортизация, торможение тела при движении его к опоре. Постепенное торможение осуществляется вследствие уступающей работы мышц-разгибателей стопы (опускание носка на опору) и мышц, отводящих таз в тазобедренном суставе этой ноги (опускание таза вниз). Амортизация с торможением по вертикали неминуемо сопровождается и некоторым торможением по горизонтали.

В результате большей, чем в обычной ходьбе, длины (105—130 см против 80—90 см) и частоты (180—200 шагов в минуту против 110—120) шагов скорость спортивной ходьбы в 2—2,5 раза больше, чем скорость обычной ходьбы. Руки совершают уравнивающие движения с большим размахом, сопровождая повороты верхней части туловища навстречу поворотам таза.

## § 50. Биодинамика лыжного хода

В лыжных ходах после очередного свободного скольжения, в течение которого скорость падает из-за трения лыж по снегу и сопротивления воздуха, лыжник вновь увеличивает скорость благодаря отталкиванию лыжами и палками от снега в сочетании с маховыми движениями рук и ног (к отталкиваниям ногой и рукой присоединены махи рукой и ногой) и броском тела вперед (поворот таза вперед и рывок туловища вверх).

### 50.1. Период скольжения лыжи

В попеременном двухшажном ходе чуть позднее отталкивания палкой завершается отталкивание лыжей, начинается скольжение на другой лыже (рис. 93). С в о б о д н о е с к о л ь ж е н и е (фаза I) происходит при тормозящем воздействии трения лыжи по снегу и незначительном сопротивлении воздуха. Чтобы меньше терять скорость, нельзя делать движения с ускорениями звеньев, направленными вверх; это вызовет силы инерции, направленные вниз, которые прижмут лыжу к снегу и увеличат трение. Замедление же движений вверх рук и переносной ноги (после предыдущего отталкивания лыжей «на взлет»), наоборот, снизит давление на лыжу и уменьшит трение. Свободное скольжение заканчивается постановкой палки на снег: после замедленного завершения махового выноса руки вперед лыжник, слегка



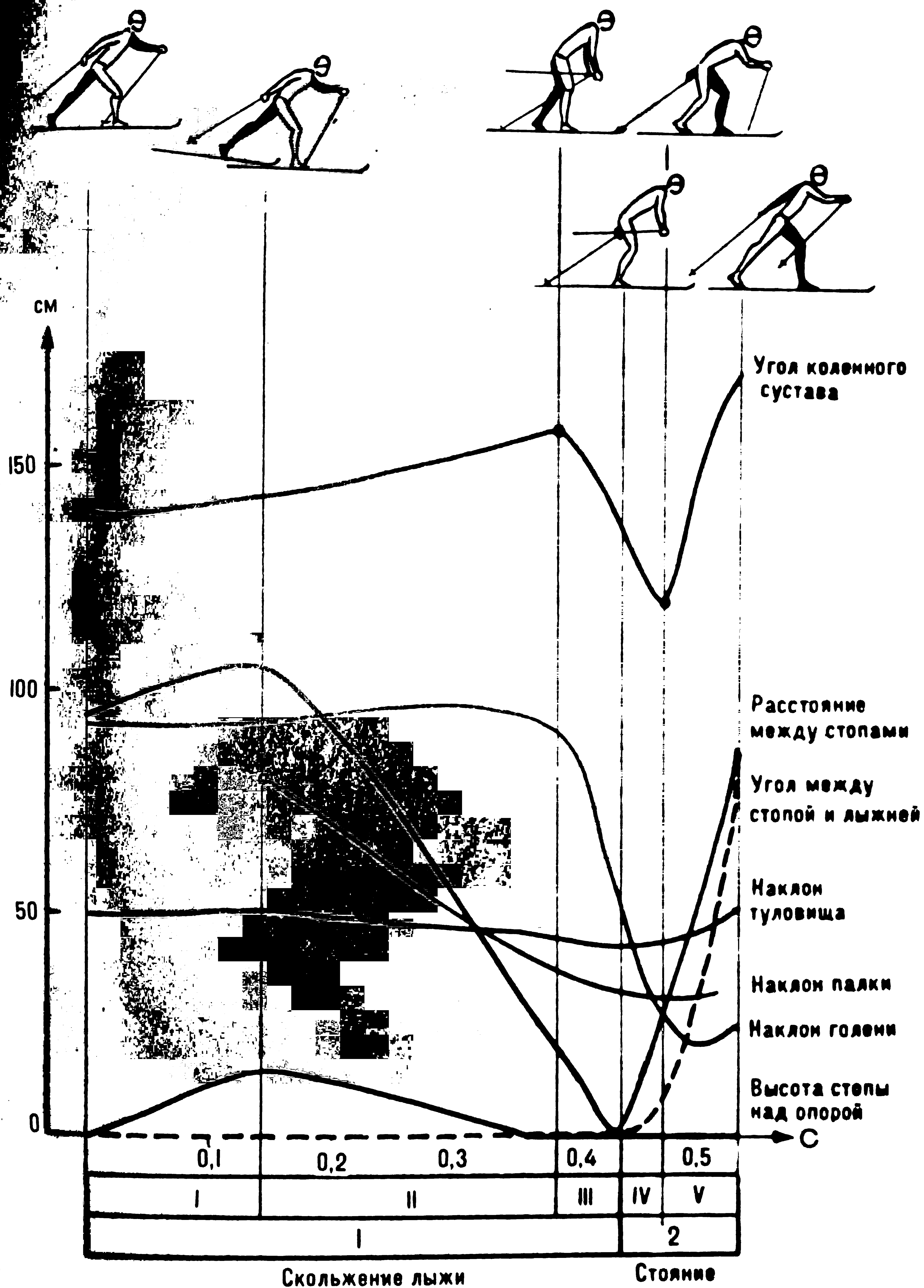


Рис. 93.

Фазы попеременного хода на лыжах (по Х. Х. Гроссу)



согнув ее и зафиксировав суставы руки и туловища, энергичным ударом ставит палку на снег.

Начинается фаза скольжения с выпрямлением опорной ноги (фаза II). Усиливая наклоном туловища нажим на палку, лыжник стремится повысить скорость скользящей лыжи. Стопа опорной ноги, немного выдвинутая вперед, предупреждает потерю энергии на амортизацию и преждевременный перекат. Опорная нога выпрямляется, подготавливаясь к последующему подседанию на ней.

Подседание начинается еще при скольжении лыжи (фаза III), которая при энергичном разгибании опорной ноги в тазобедренном суставе быстро теряет скорость и останавливается. В фазе I необходимо как можно меньше терять скорость, в фазе II — увеличить скорость скользящей лыжи, в фазе III — быстрее остановить лыжу.

## 50.2. Период стояния лыжи

Лыжа, стоящая неподвижно на снегу, благодаря силе трения (статической) служит опорой для отталкивания ногой и маховых движений (рукой, ногой и туловищем). Подседание, начатое в фазе III, продолжается и завершается в фазе IV, сопровождаемое выпадом — движением переносной ноги вперед от носка стопы опорной ноги. С остановкой лыжи тело лыжника продолжает ускоренное продвижение вперед (перекат) благодаря: а) началу разгибания бедра опорной ноги в тазобедренном суставе («активный перекат»), б) выпадку переносной ногой, в) маху свободной рукой, г) началу поворота таза вперед и д) усиленному до максимума нажиму на палку в наиболее наклонном ее положении.

С окончанием подседания начинается выпрямление толчковой ноги в коленном суставе (фаза V), сопровождаемое завершающимся выпадом. Отталкивание ногой и рывок туловищем вверх обеспечивают общее направление отталкивания «на взлет», что снижает трение в фазе I следующего скользящего шага. Снижение скорости выпада из-за торможения растягиваемых мышц-антагонистов тазобедренного сустава компенсируется, насколько возможно, ускоренным поворотом таза вперед и энергичным завершением отталкивания палкой (до выпрямления руки и палки в одну линию). В фазе IV необходимо повысить скорость выпада, в фазе V — меньше терять скорость стопы в выпаде.

Характерными особенностями современной техники считаются стремление уменьшить трение лыжи о снег завершенным отталкиванием лыжей («на взлет») и опорой на палку, а также высокий темп шагов. У хорошо подготовленных лыжников темп шагов достигает 110—120 в минуту.

С повышением скорости хода изменяется ритм скользящего шага: относительно сокращается время отталкивания лыжей; подседание и выпрямление толчковой ноги делаются быстрее.



## § 51. Биодинамика плавания брассом

Способы плавания основаны на взаимодействии пловца с водой, при котором создаются силы, продвигающие его в воде и удерживающие на ее поверхности. Взаимодействие возникает вследствие погружения в воду и активных движений пловца. Специфические особенности биодинамики плавания связаны с тем, что силы, тормозящие продвижение, значительны, переменны и действуют непрерывно. Постоянной же опоры для отталкивания вперед у пловца нет, она создается во время гребковых движений и остается переменной по величине.

### 51.1. Основные действия

При всех гребковых движениях гребущие звенья движутся относительно остальных частей тела назад, а последние относительно гребущих звеньев — вперед. В начале гребкового движения спортсмен плывет по дистанции с некоторой начальной скоростью. Вследствие гребка туловище продвигается вперед со скоростью большей, чем начальная. Гребущие звенья движутся относительно туловища назад быстрее, чем относительно воды. Таким образом, механизм динамического взаимодействия пловца с водой основан на изменениях сопротивления воды, обусловленных в первую очередь скоростью движения частей тела относительно воды.

Из исходного положения для гребка с согнутыми и разведенными ногами (рис. 94) пловец делает сильный удар ногами назад, выпрямляя их в коленных суставах (фаза I). Руки в течение этой фазы вытянуты вперед. После окончания удара ногами происходит пассивное скольжение в воде при вытянутом положении тела (фаза Ia). Не допуская значительной потери скорости, пловец начинает разводить кисти рук в стороны, постепенно сгибая руки в локтевых суставах и опуская их вниз (фаза II). Фаза гребка руками завершается при наибольшей скорости продвижения кистей назад относительно тела. Друг за другом следуют гребковые движения ног (удар) и рук, вызывая дважды увеличение скорости передвижения тела вперед. В фазах I и II пловец стремится увеличить скорость, в фазе Ia, придавая обтекаемую форму телу, — меньше терять скорость.

### 51.2. Подготовительные действия

С окончанием гребка руками начинается выведение их вперед со сгибанием в локтевых суставах (фаза III), а также сгибание ног. Это подготовка к гребковым движениям в следующем цикле. Движения начинаются медленно, чтобы не создавать значительной скорости движений навстречу потоку. Одновременно выполняются и подготовительные движения ног — сгибание и движение вперед. В следующей фазе (фаза IV) руки разгибаются в локтевых суставах и вытягиваются вперед, а ноги завершают подтягивание вперед до полного сгибания в коленных суставах. В фазе III необходимо избегать резкого снижения скорости, а в фазе IV — как можно меньше терять ее.

Таким образом, из пяти фаз цикла только две — I и II — пред-



Источник движущей силы — мышцы ног спортсмена, передающие усилия через педаль, шатун, ведущую шестерню, цепь на заднюю шестерню. Нижняя точка обода заднего колеса не может сместиться назад и фиксирована на опоре с помощью силы трения (необходимая внешняя сила). Поэтому ось от связанной с нею задней шестерни получает ускорение вперед. Сила трения скольжения (статическая) не дает проскальзывать покрышке заднего колеса назад по грунту. Она служит той внешней силой, без которой ускорение системы на горизонтальной поверхности невозможно.

## 52.2. Передача усилий при академической гребле

Самым характерным в академической гребле является значительное перемещение гребца относительно лодки посредством подвижного сиденья (банки), перемещающегося на роликах вдоль продольной оси лодки на ползках.

Выносные уключины увеличивают плечо рычага (расстояние от оси вращения весла до места хвата рукой). Гребец прилагает усилия руками к рукоятке весла и ногами к подножке, укрепленной неподвижно.

При проводке весла лопасть встречает сопротивление воды. Сначала подтягивая лодку веслом, а потом отталкивая ее от воды, захваченной лопастью, гребец продвигает лодку вперед. За время проводки гребец перемещается на банке вперед, к носу лодки. Начало гребка выполняется одновременно с быстрым и ровным давлением ног на подножку в виде «прыжка» в сторону носа лодки. Этот «прыжок» как бы тормозится на рукоятке весла, что увеличивает силу, приложенную через весло к воде.

После окончания гребка следует фаза заноса весел. Это движение является подготовительным для следующего гребка и совершается посредством перемещения на банке к корме; весла в это время заносятся лопастями к носу. Однако в этой фазе усилия гребка, приложенные к лодке, направлены в сторону движения лодки. Подтягивая себя к подножке за носковые ремни, гребец этим выталкивает из-под себя лодку вперед. ОЦМ системы гребец—весла—лодка от перемещения назад свою скорость изменить не может (если не учитывать увеличения сопротивления воды в зависимости от скорости лодки). Но лодка относительно гребца и воды получает ускорение вперед. Наличие его уменьшает падение скорости лодки, скользящей по инерции. Это делает скорость хода лодки более равномерной, что выгодно для продвижения против сопротивления воды. Таким образом, активные усилия гребка приложены через весла к воде в одном направлении, а через подножку к лодке — поочередно в двух («прыжок» от подножки и перемещение).

## Глава X

### ПЕРЕМЕЩАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ

Перемещающими в биомеханике называют движения, задача которых — перемещение какого-либо тела (снаряда, мяча, соперника, партнера). Перемещающие движения весьма разнообразны.



Примерами в спорте могут быть метания, удары по мячу, броски партнера в акробатике и т. п.

К перемещающим движениям в спорте обычно предъявляются требования достичь максимальных величин:

- а) силы действия (при подъеме штанги),
- б) скорости перемещаемого тела (в метаниях),
- в) точности (штрафные броски в баскетболе).

Нередки и случаи, когда эти требования (например, скорости и точности) предъявляются совместно.

Среди перемещающих различают движения:

- а) с разгоном перемещаемых тел (например, метание копья),
- б) с ударным взаимодействием (например, удары в теннисе или футболе).

Поскольку большинство спортивных перемещающих движений связано с сообщением скорости вылета какому-нибудь снаряду (мячу, снаряду для метания), здесь рассматриваются прежде всего механические основы полета спортивных снарядов.

### § 53. Полет спортивных снарядов

Траектория (в частности, дальность) полета снаряда определяется:

- а) начальной скоростью вылета, б) углом вылета, в) местом (высотой) выпуска снаряда, г) вращением снаряда и д) сопротивлением воздуха, которое, в свою очередь, зависит от аэродинамических свойств снаряда, силы и направления ветра, плотности воздуха (в горах, где атмосферное давление ниже, плотность воздуха меньше и спортивный снаряд при тех же начальных условиях вылета может пролететь большее расстояние).

Начальная скорость вылета является той основной характеристикой, которая закономерно изменяется с ростом спортивного мастерства. В отсутствие сопротивления воздуха дальность полета снаряда пропорциональна квадрату скорости вылета. Увеличение скорости вылета, скажем, в 1,5 раза должно увеличить дальность полета снаряда в  $1,5^2$ , т. е. в 2,25 раза. Например, скорость вылета ядра 10 м/с соответствует результату в толкании ядра в среднем 12 м, а скорость 15 м/с — результату около 25 м.

У спортсменов международного класса максимальные скорости вылета снарядов равны: при ударе ракеткой (подача в теннисе) и клюшкой (хоккей) — свыше 50 м/с, при ударе рукой (нападающий удар в волейболе) и ногой (футбол), метании копья — около 35 м/с. Из-за сопротивления воздуха скорость в конце полета снаряда меньше начальной скорости вылета.

Углы вылета. Различают следующие основные углы вылета:

1. Угол места — угол между горизонталью и вектором скорости вылета (он определяет движение снаряда в вертикальной плоскости: выше — ниже).

2. Азимут — угол вылета в горизонтальной плоскости (правее — левее, измеряется от условно выбранного направления отсчета).

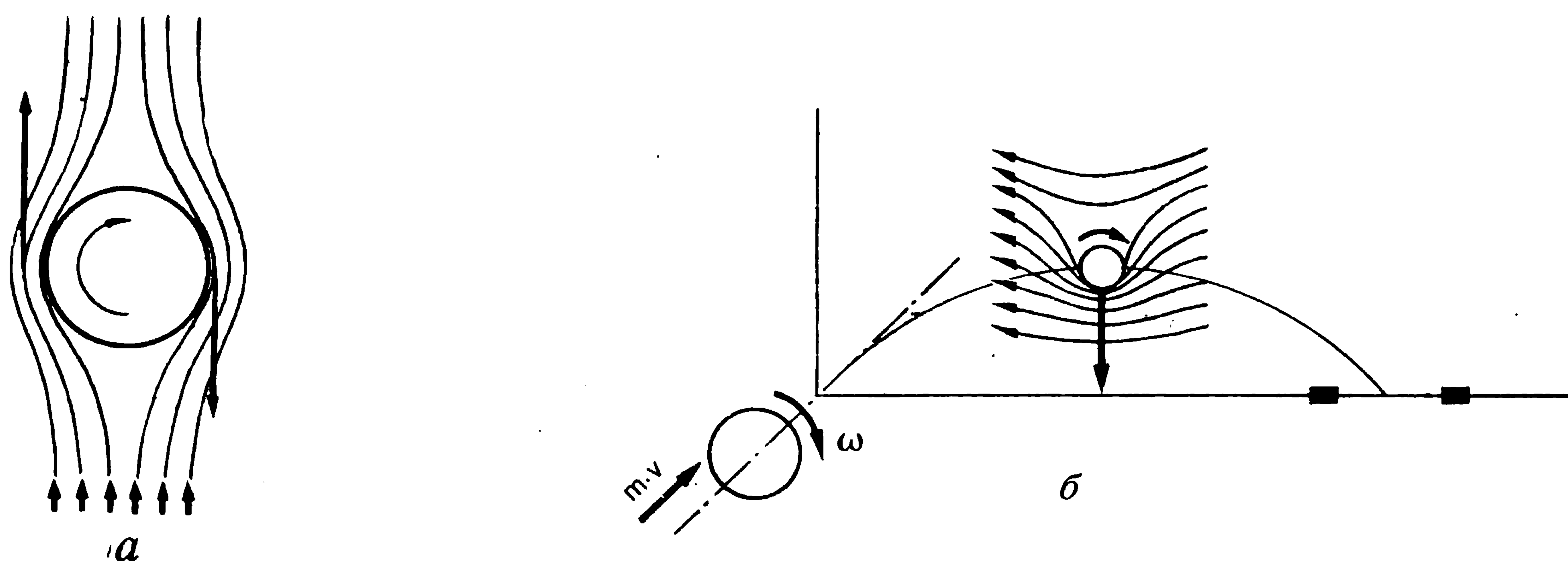
3. Угол атаки — угол между вектором скорости вылета и продоль-



ной осью снаряда<sup>1</sup>. Метатели копья стремятся, чтобы угол атаки был близок к нулю («попасть точно в копье»). Метателям диска рекомендуется выпускать диск с отрицательным углом атаки (В. Н. Тугевич). При полете мячей, ядра и молота угла атаки нет.

Высота выпуска снаряда влияет на дальность полета. Дальность полета снаряда увеличивается примерно на столько, на сколько увеличивается высота выпуска снаряда (В. Н. Тугевич).

**Вращение снаряда и сопротивление воздуха.** Вращение снаряда оказывает двойное влияние на его полет. Во-первых, вращение как бы стабилизирует снаряд в воздухе, не давая ему «кувыркаться». Здесь действует гироскопический эффект, подобный тому, который позволяет не падать вращающемуся волчку. Во-вторых, быстрое вращение снаряда искривляет его траекторию (так называемый эффект Магнуса). Если мяч вращается (такое вращение нередко называют спином, от англ. spin — вращение), то скорость воздушного потока на разных его сторонах будет разной. Вращаясь, мяч увлекает прилегающие слои воздуха, которые начинают двигаться вокруг него (циркулировать). В тех местах, где скорости поступательного и вращательного движений складываются, скорость воздушного потока становится больше; с противоположной стороны мяча эти скорости вычитаются и результирующая скорость меньше (рис. 96, а). Из-за этого и давление с



**Рис. 96.**

Эффект Магнуса — появление боковой силы при полете вращающегося мяча:

а — возникновение эффекта Магнуса: при вращении мяча скорость циркулирующего потока воздуха вычитается (справа) или складывается (слева) со скоростью потока, обтекающего мяч;

б — использование эффекта Магнуса при угловом ударе в футболе.

Там, где линии тока воздуха, обтекающего мяч, нарисованы близко друг к другу, скорость потока больше, а давление меньше

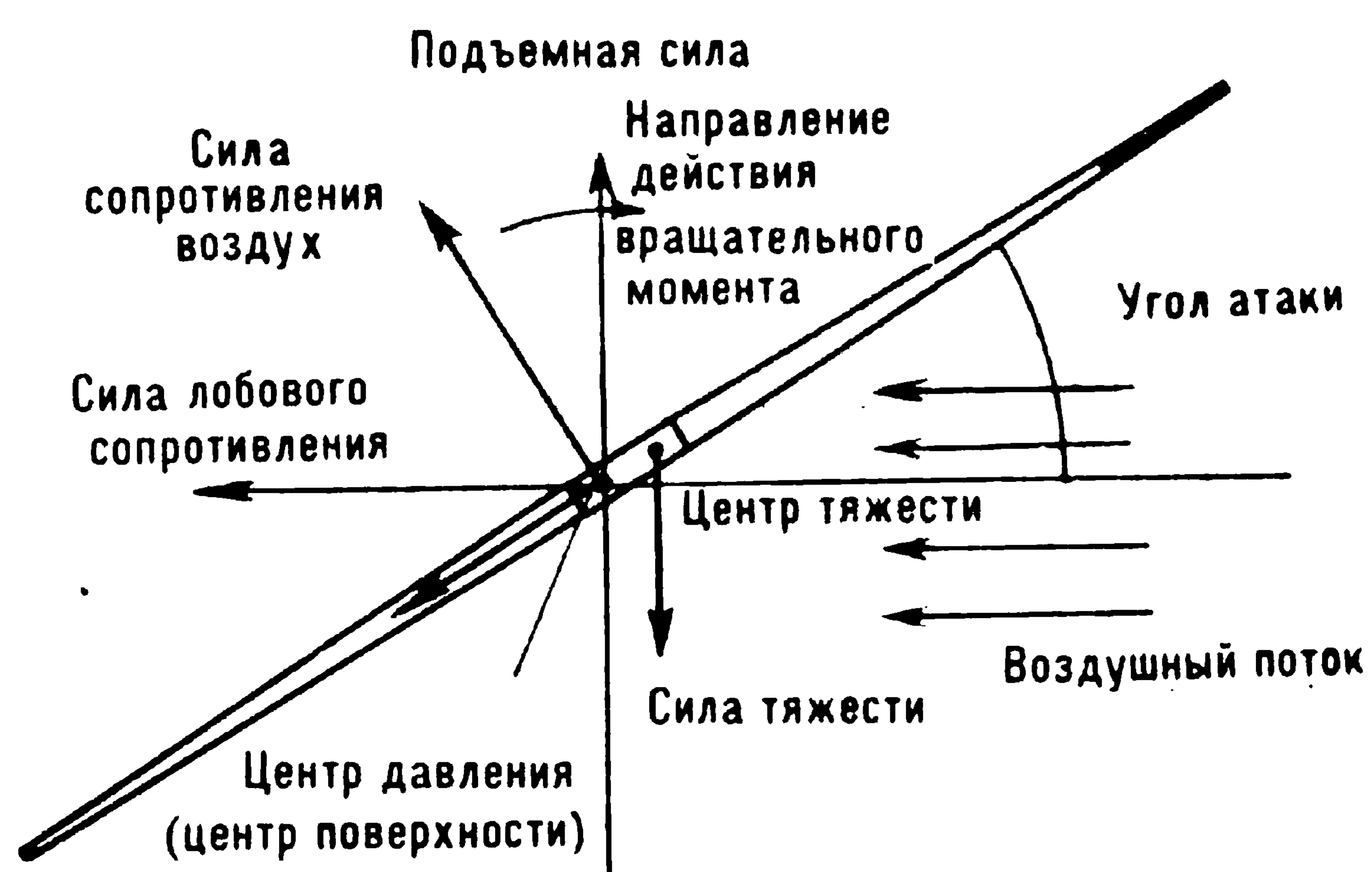
разных сторон будет разным: больше с той стороны, где скорость воздушного потока меньше. Это следует из известного закона Бернулли: давление газа или жидкости обратно пропорционально скорости их движения (этот закон можно применить к случаю, показанному на рисунке). Эффект Магнуса позволяет, например, выполняя угловой удар в футболе, послать мяч в ворота (рис. 96, б). Величина боковой силы, действующей на вращающийся мяч, зависит от скорости его полета и скорости вращения. Влияние вращения мяча на его траек-

<sup>1</sup> Это определение в принципе справедливо, если нет ветра. Более точно угол атаки определяется как угол между осью снаряда и направлением воздушного или водного потока, обтекающего его.



торию тем выше, чем больше поступательная скорость. Пытаться придать медленно летящему мячу большое вращение, чтобы влиять на направление полета, нецелесообразно. Теннисные мячи при соответствующих ударах вращаются со скоростью выше 100 об/с, футбольные и волейбольные — значительно медленнее. Если направление вращения мяча совпадает с направлением полета, такой мяч в спортивной практике называют **к р у ч е н ы м**, если не совпадает, — **р е з а н ы м** (крученный мяч катился бы по земле в направлении своего полета, а резаный — назад к игроку, пославшему мяч).

Если воздушный поток обтекает снаряд под некоторым углом атаки, то сила сопротивления воздуха направлена под углом к потоку (рис. 97). Эту силу можно разложить на составляющие: одна из них направлена по потоку — это **л о - б о в о е с о п р о т и в л е н и е**, другая перпендикулярна к потоку — это **п о д ъ е м н а я с и л а**. Существенно помнить, что подъемная сила не обязательно направлена вверх; ее направление может быть различным. Это зависит от положения снаряда и направления воздушного потока относительно его. В тех случаях, когда подъемная сила направлена вверх и уравнивает вес снаряда, он может начать планировать. Планирование копья и диска существенно повышает результаты в метании.



**Рис. 97.**

Силы, действующие на копье в воздухе

Если центр давления воздушного потока на снаряд не совпадает с центром тяжести, возникает вращательный момент силы, и снаряд теряет устойчивость. Аналогичная картина и проблема сохранения устойчивости возникают и в полетной фазе в прыжках на лыжах. Отсутствие вращения достигается выбором правильной позы, при которой центр тяжести тела и центр его поверхности (центр давления воздушного потока) расположены так, что вращательный момент не создается.

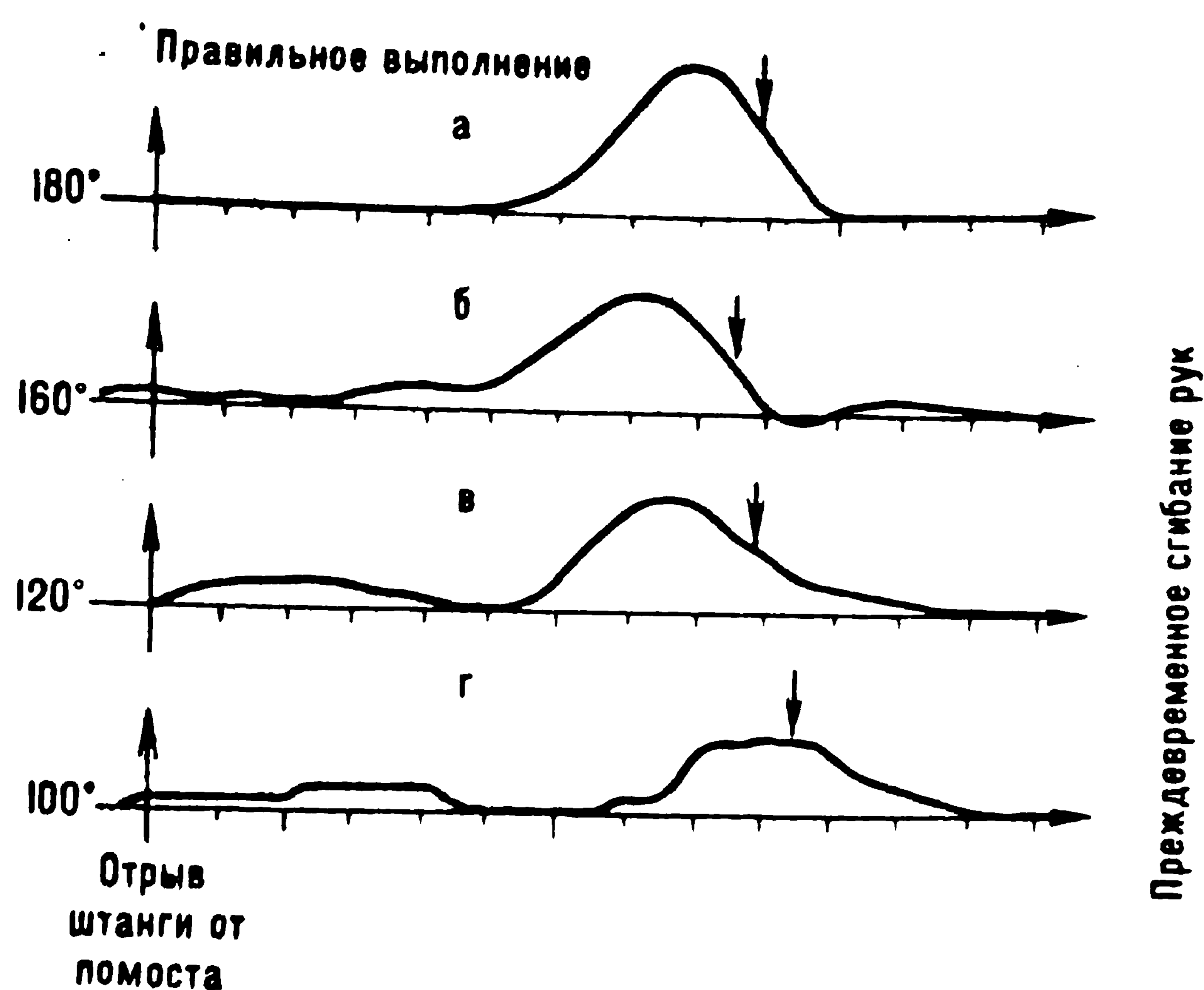
## § 54. Сила действия в перемещающих движениях

Сила действия в перемещающих движениях обычно проявляется конечными звеньями многозвенной кинематической цепи. При этом отдельные звенья могут взаимодействовать двумя способами:

1. Параллельно — когда возможна взаимокompенсация действия звеньев; если сила, проявляемая одним из звеньев, недостаточна, другое звено компенсирует это большей силой. Пример: при бросках в борьбе недостаточная для выполнения приема мышечная сила одной руки может компенсироваться большей силой действия второй руки. Параллельное взаимодействие возможно лишь в разветвляющихся кинематических цепях (действия двух рук или двух ног).

2. Последовательно — когда взаимокompенсация невозможна.





**Рис. 98.**

Правильное выполнение (вверху) и технические ошибки при подъеме штанги с земли (тяге), вызванные несвоевременным включением слабых звеньев двигательного аппарата (по А. А. Лукашеву)

Сгибание рук (гониограмма локтевого сустава). При выполнении подъема штанги сила сгибателей рук уступает силе разгибателей ног и туловища. Поэтому руки в локтевых суставах должны быть выпрямлены. Если руки согнуты, то во время тяги они выпрямятся, мешая подъему штанги

При последовательном взаимодействии звеньев многозвенной кинематической цепи нередко бывает, что какое-то одно звено оказывается более слабым, чем остальные, и ограничивает проявление максимальной силы. Очень важно уметь распознавать такое отстающее звено с целью либо его целенаправленно укрепить, либо изменить технику движения таким образом, чтобы данное звено не ограничивало роста результатов. Например, толкатели ядра, у которых мышцы голеностопного сустава и стопы относительно слабые, делают скачок перед финальным усилием с опорой на всю стопу; спортсмены с сильной стопой могут выполнять скачок с приходом на носок. Включение в работу слабых звеньев (если они могут быть выключены) является технической ошибкой, приводящей к снижению спортивного результата (рис. 98).

Уже отмечалось (см. гл. V), что сила действия зависит от положения тела спортсмена. Поэтому нужно строить технику таким образом, чтобы наибольшую силу действия проявлять в наиболее выгодном для этого положении. Например, при разной высоте грифа штанги над помостом штангист может к ней приложить неодинаковую силу (рис. 99). При правильной технике спортсмен акцентирует проявление мышечных усилий в наиболее выгодной для этого позе (так называемый подрыв штанги).

## § 55. Скорость в перемещающих движениях

В перемещающих движениях необходимо сообщить скорость рабочему звену тела (вместе со снарядом — в действиях с разгоном или без снаряда — в ударных действиях).

Движение (и скорость) рабочего звена является результатом суммирования движений (и скорости) отдельных звеньев тела. Например, скорость кисти и ядра при толкании равна сумме скоростей плечевого сустава и разгибания руки. Движение звеньев тела в неподвижной системе координат обычно можно представить как сумму переносного и относительного движений. Например, движение плечевого сустава в пространстве можно рассматривать как переносное, а движение кисти и ядра по отношению к плечевому суставу — как относительное.

Естественно, что скорость рабочего звена будет самой высокой, если скорости переносного и относительного движений максимальны. Поэтому для достижения максимальной скорости рабочего звена



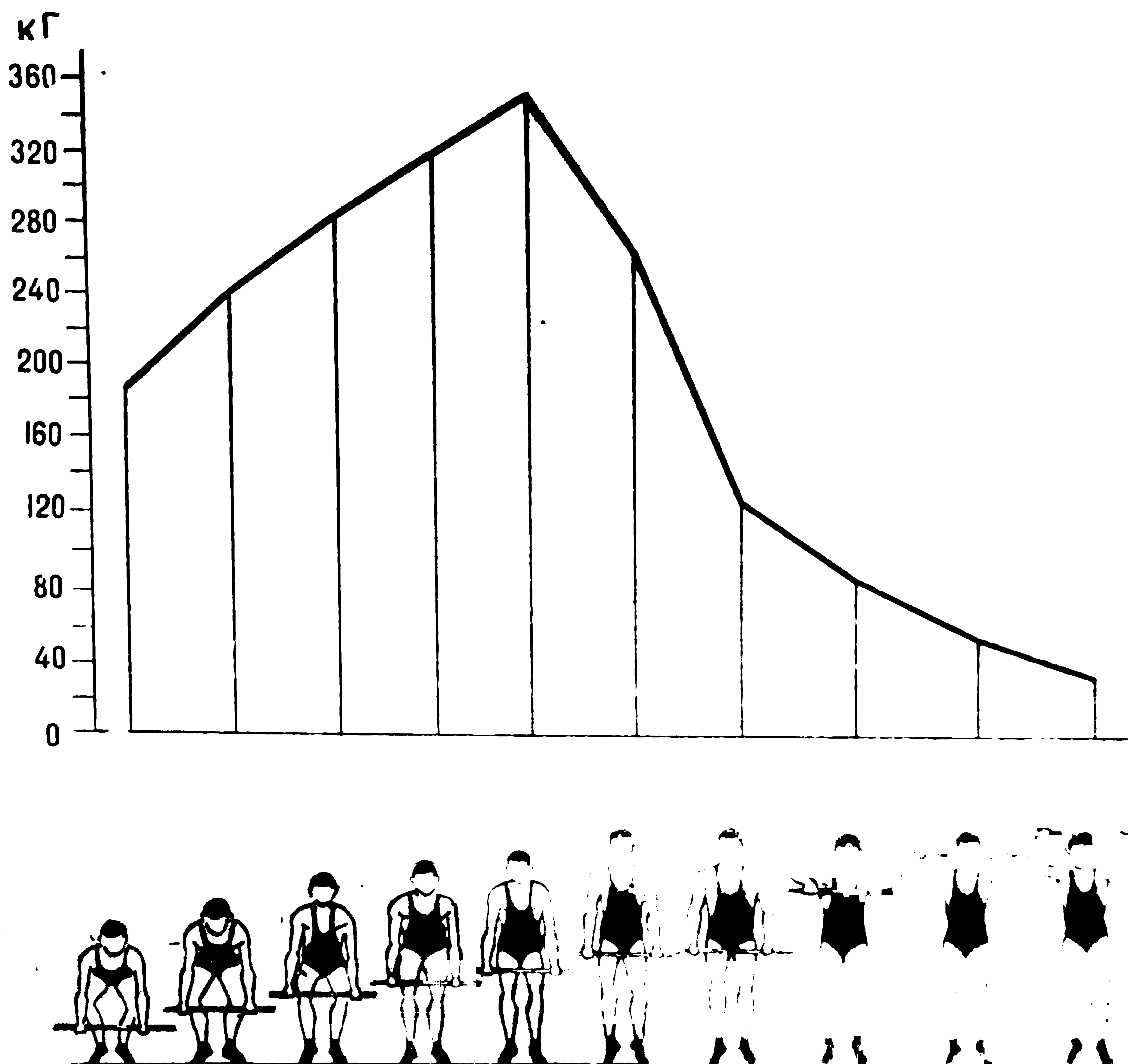


Рис. 99.

Зависимость максимальной силы штангиста от высоты расположения грифа штанги (Л. Н. Соколов)

необходимо определенное сочетание во времени движений отдельных звеньев тела (рис. 100). Каждое из этих звеньев участвует во вращательном движении относительно оси сустава и в поступательном движении этого сустава, которое можно рассматривать как переносное. Например, при ударе ногой по мячу голень перемещается за счет разгибания в коленном суставе (движение по отношению к бедру и коленному суставу) и за счет движения бедра и самого коленного сустава (переносное движение).

Вращательное движение звеньев двигательного аппарата человека обусловлено<sup>1</sup>:

1) действием момента силы тяги

<sup>1</sup> Действие силы тяжести здесь не учитывается.

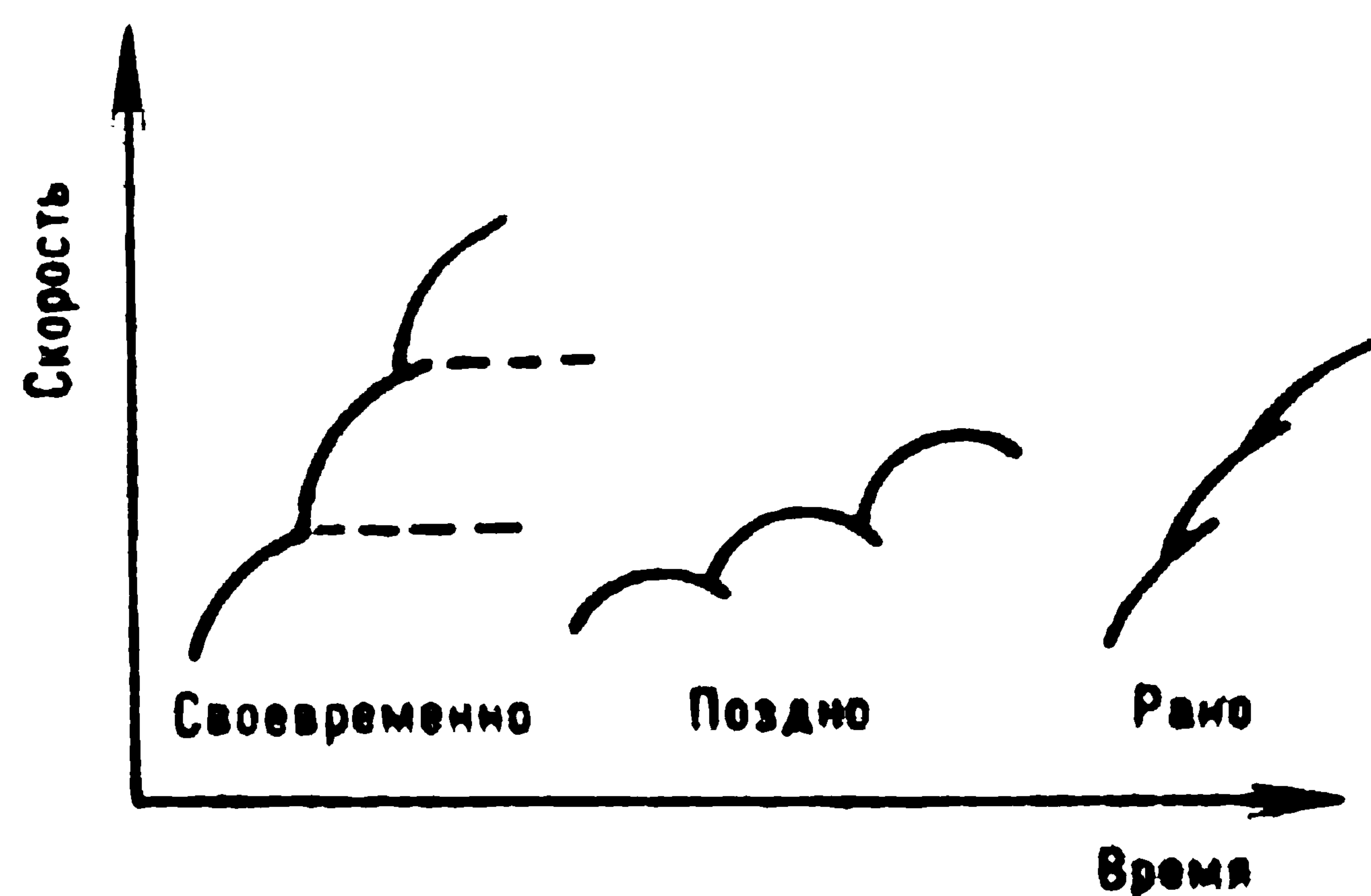


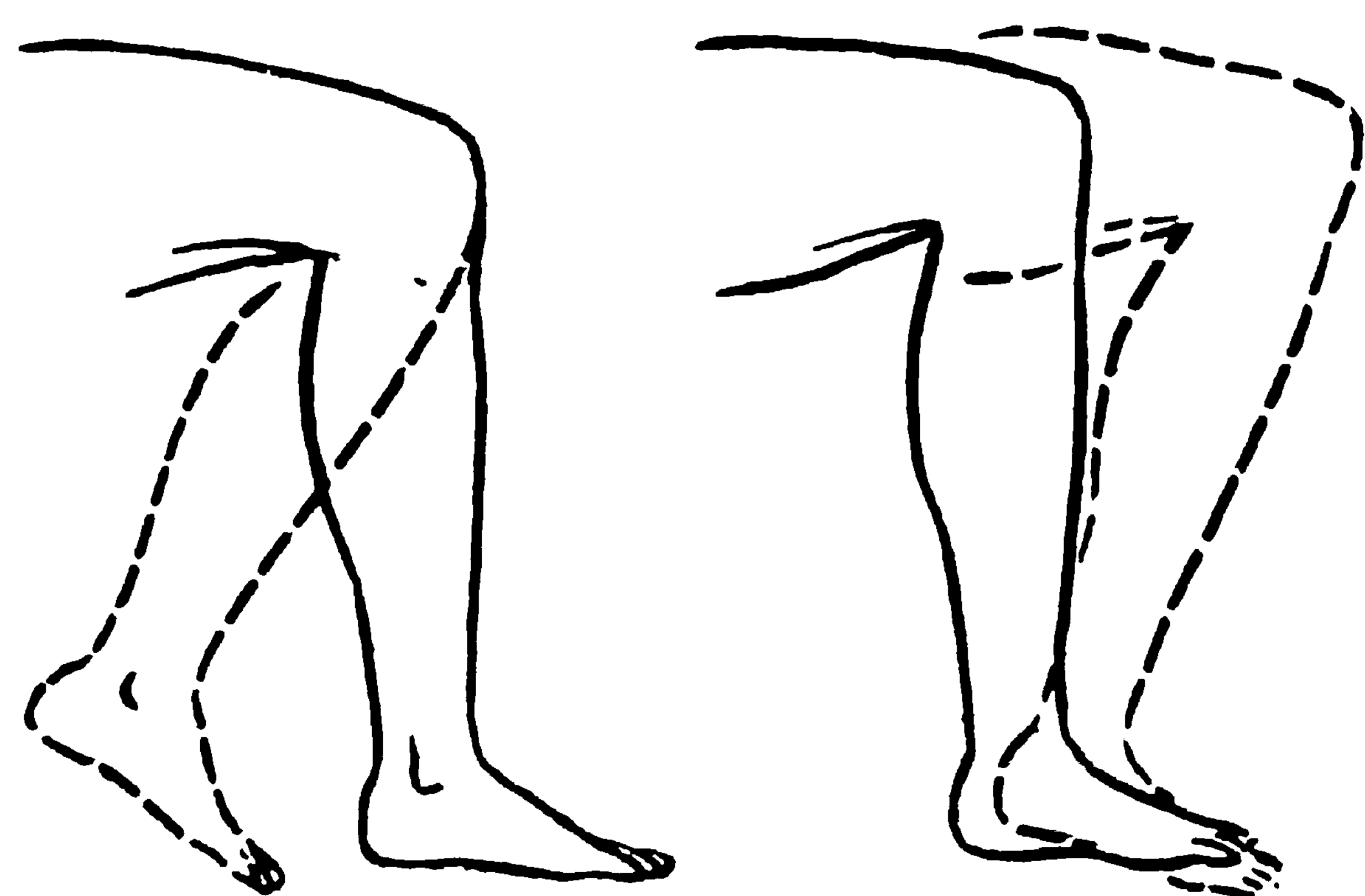
Рис. 100.

Различные варианты сочетания скорости отдельных звеньев тела (схема)



мышц, проходящих через сустав, например сгибателей и разгибателей его;

2) ускоренным движением самого сустава. Оно вызвано силой, линия действия которой проходит через суставную ось (так называемой суставной силой) — рис. 101.



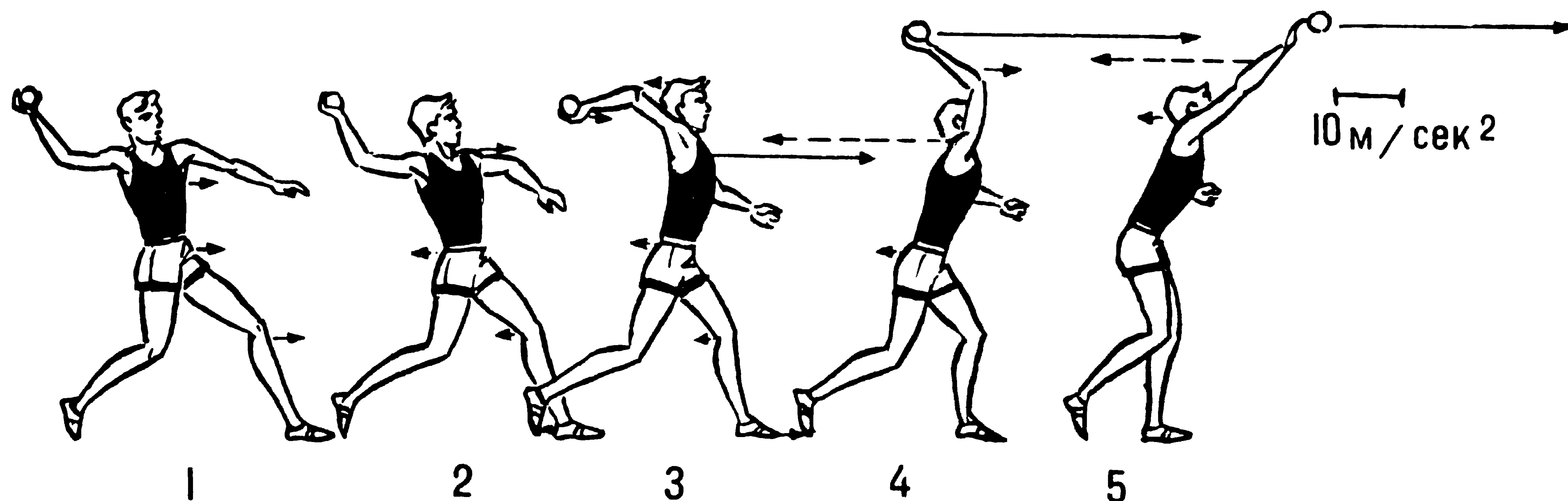
**Рис. 101.**

Два способа создания вращательного движения голени:

слева — за счет момента сил тяги мышц коленного сустава; справа — за счет ускоренного движения самого сустава

Если бы сустав был неподвижен, то, конечно, под действием этой силы движения относительно оси не возникло бы. Ведь нельзя же раскачать качели, надавливая на их ось. Но если ось под действием силы смещается, то подвешенное к ней звено поворачивается вокруг оси.

Инвалиды с протезом ноги выше коленного сустава выполняют сгибание и разгибание протеза голени при ходьбе за счет действия только этой силы (ведь мышц коленного сустава, да и самого сустава у них нет). У здорового человека голень при ходьбе движется как за счет движения колена, так и за счет силы тяги мышц коленного сустава. Подобное выполнение вращательного движения в спортивной практике нередко называют «хлестом». Он широко используется в быстрых перемещающих движениях. Выполнение движений «хлестом» основано на том, что проксимальный сустав сначала быстро движется в направлении метания или удара, а затем резко тормозится. Это вызывает быстрое вращательное движение дистального звена тела. На рис. 102 показано, как последовательно двигается волна таких отрицательных ускорений от нижних конечностей к верхним при метании.



**Рис. 102.**

Горизонтальные ускорения основных суставов при метании мяча 150 г (результат 95 м 20 см) (Е. Н. Матвеев).

На кадрах 3 и 4 видно, как быстро изменилось ускорение плечевого сустава с положительного на отрицательное

При выполнении движений «хлестом» максимумы переносной и относительной скорости не совпадают во времени, т. е. движения выполняют не так, как показано на рис. 100. В самом деле, торможение проксимальных звеньев (например, туловища и плеча на рис. 102), конечно, снижает их скорость. Однако это повышает скорость (от-



носительную) дистальных звеньев, так что, несмотря на снижение переносной скорости, абсолютная скорость конечного звена, равная сумме переносной и относительной скорости, может оказаться выше.

В случае перемещения тел с разгоном (метания, броски и т. п.) увеличение скорости снаряда обычно проходит в три этапа:

1. Скорость сообщается всей системе «спортсмен—снаряд», от чего она приобретает определенное количество движения (разбег в метании копья, повороты при метании диска и молота и т. п.).

2. Скорость сообщается только верхней части системы «спортсмен—снаряд»: туловищу и снаряду (первая половина финального усилия; в это время обе ноги касаются опоры).

3. Скорость сообщается только снаряду и метаемой руке (вторая половина финального усилия).

Скорость вылета снаряда представляет собой сумму скоростей, приобретенных им на каждом из этих этапов. Однако векторы скоростей стартового и финального разгонов обычно не совпадают по направлению, поэтому их суммирование может быть только геометрическим (по правилу параллелограмма). Значительная часть стартовой скорости теряется. Например, сильнейшие толкатели ядра могут толкнуть ядро с места на 19 м, что соответствует

скорости вылета снаряда около 13 м/с. В скачке они сообщают ядру скорость до 2,5 м/с. Если бы эти скорости удалось сложить арифметически, то скорость вылета ядра была бы равна  $13 + 2,5 = 15,5$  м/с, что дало бы результат около 26 м — примерно на 4 м выше мирового рекорда.

Для увеличения скорости вылета снаряда стремятся увеличить путь воздействия на него в финальном усилии. Например, у сильнейших в мире толкателей ядра — финалистов олимпийских игр — расстояние между ядром и землей на старте уменьшилось со 105 см в 1960 г. до 80 см в 1976 г. Для увеличения пути воздействия на снаряд используют так называемый **обгон звеньев** (рис. 103).

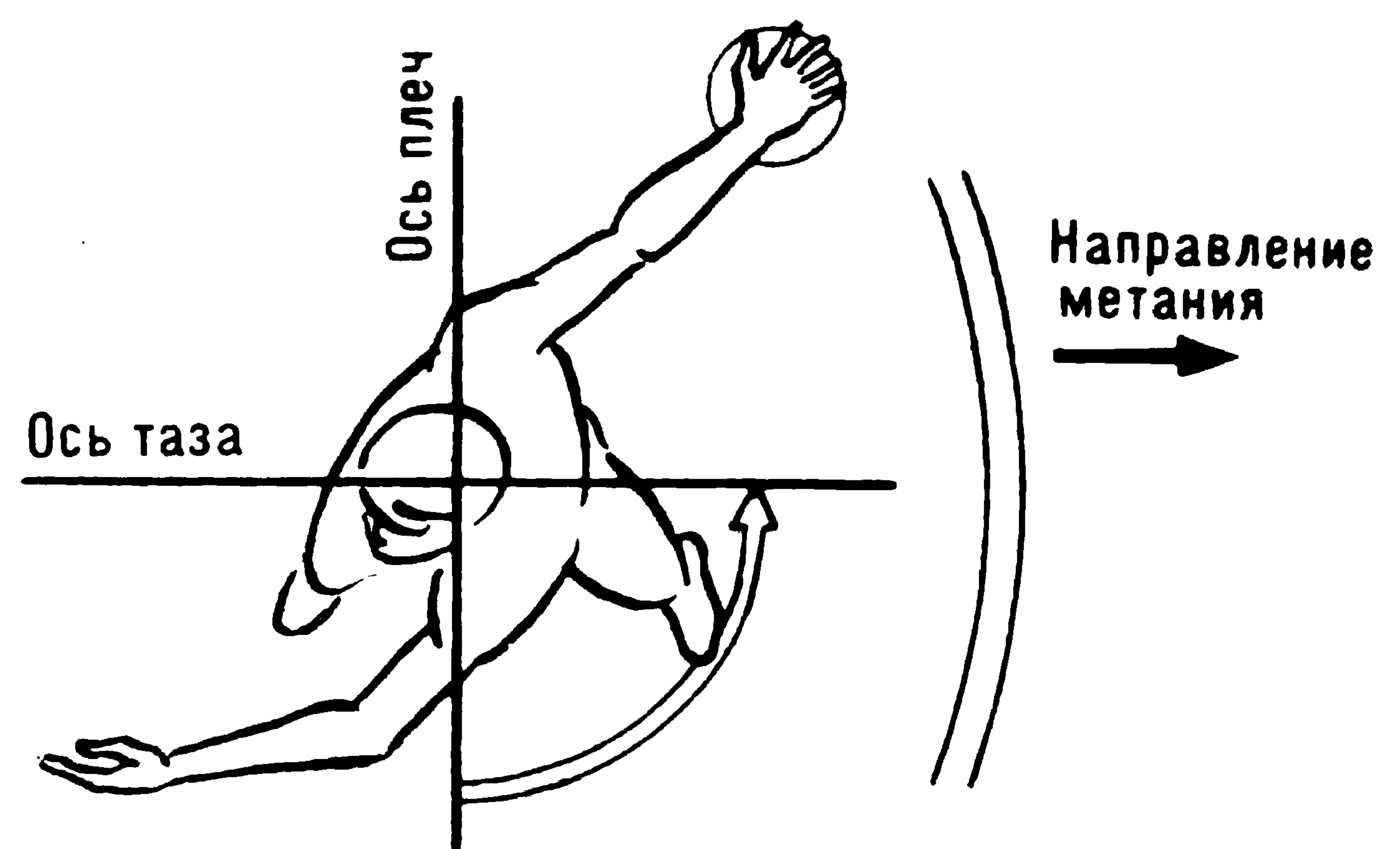


Рис. 103.

Обгон звеньев при метании диска (по В. Н. Тутевичу)

## § 56. Точность в перемещающих движениях

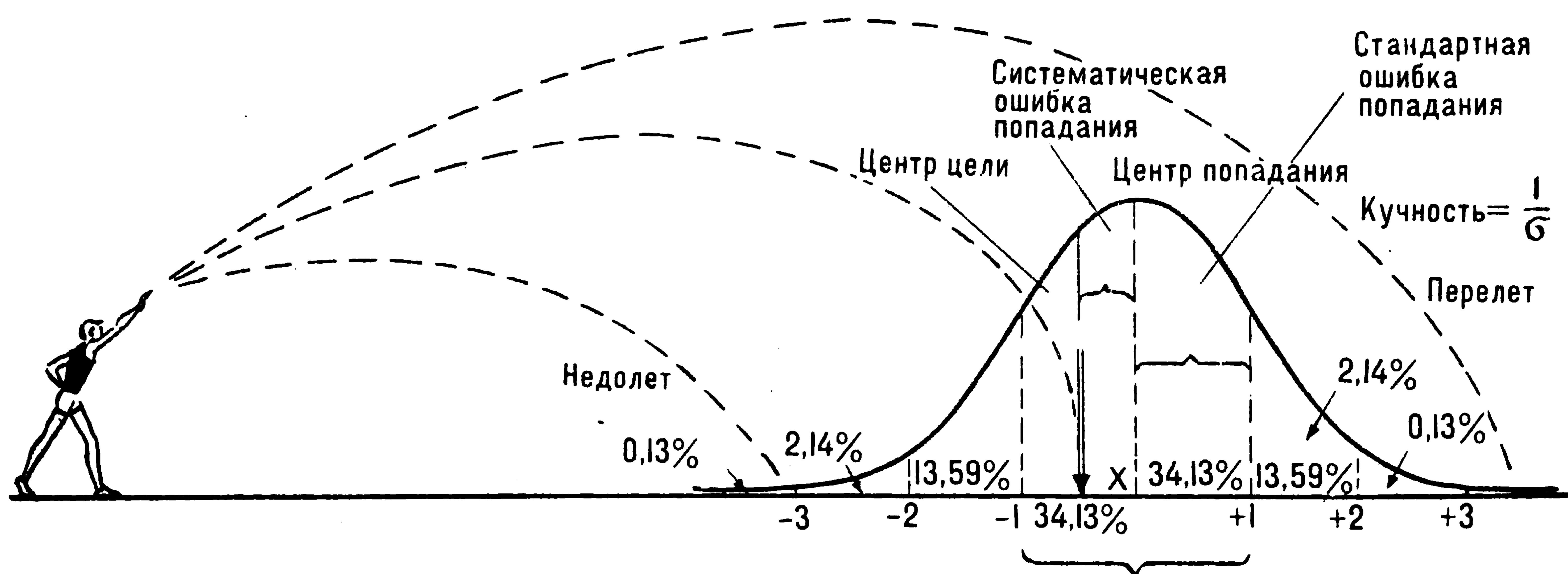
Под точностью движения понимают степень его близости требованиям двигательного задания. Вообще говоря, любое движение может быть выполнено лишь в том случае, если оно достаточно точно. Если, например, во время ходьбы человек будет выполнять движения очень неточно, то идти он не сможет. Однако здесь будет идти речь о точности в более узком смысле слова — о точности рабочего звена тела (например, кисти) или управляемого этим звеном снаряда (фехтовального оружия, мяча, ручки для письма).

Различают два вида точностных заданий. В первом необходимо обеспечить точность движения на всей его траектории (пример:



обязательная программа в фигурном катании на коньках, где требуется, чтобы след конька был идеальной геометрической фигурой). Такие двигательные задания называют **з а д а ч а м и с л е ж е н и я**. Во втором виде заданий неважно, какова траектория рабочей точки тела или снаряда, необходимо лишь попасть в обусловленную цель (в мишень, ворота, поражаемую часть тела противника и т. п.). Такие двигательные задачи называют **з а д а ч а м и п о п а д а н и я**, а точность — **ц е л е в о й т о ч н о с т ь ю**.

Целевая точность характеризуется величиной отклонения от цели. В зависимости от конкретного вида двигательного задания используют различные способы оценки точности. Если стоит, например, задача бросить мяч на определенное расстояние и ошибка может выражаться только в перелете или недолете (отклонения вправо или влево значения не имеют), то при большом числе бросков мяч будет приземляться, конечно, не в одно и то же место. При этом средняя точка попадания может отклоняться от центра мишени. Это отклонение называется **с и с т е м а т и ч е с к о й о ш и б к о й** попадания. Кроме того, места приземления мяча будут как-то рассеяны относительно средней точки попадания (рис. 104). Из баллистики<sup>1</sup> известно, что это рас-



**Рис. 104.**

Показатели, используемые при оценке целевой точности.

Показан также процент попаданий при отклонении снаряда на разные расстояния от центра попадания (кривая нормального распределения)

сеивание подчиняется закону нормального распределения. Нормальное распределение характеризуется средней величиной и стандартным (средним квадратическим) отклонением. Стандартное отклонение указывает величину **с л у ч а й н о й о ш и б к и** попадания. Величина, обратная стандартному отклонению, называется **к у ч н о с т ь ю** попадания. Систематическая ошибка и кучность вместе характеризуют целевую точность. Если систематическая ошибка равна нулю, т. е. если спортсмен попадает в центр мишени, целевая точность характеризуется только кучностью. Когда имеют значения отклонения от центра мишени не только вперед-назад (вверх-вниз), но и вправо-влево, например в пулевой стрельбе или при ударах по воротам, различают

<sup>1</sup> Баллистика (от греч. балло — бросаю) — наука о движении в воздухе неуправляемых снарядов.



вертикальную и горизонтальную точность. Для оценки каждой из них надо знать систематическую и случайную ошибки, т. е. всего четыре показателя.

Часто более удобно оценивать точность по числу удачных попыток — попаданий в цель. Если систематическая ошибка известна (в частности, если она равна нулю), то, пользуясь статистическими таблицами нормального распределения, по проценту попаданий легко вычислить величину стандартной ошибки.

Отклонения от центра мишени вправо и влево зависят от азимута, а отклонения вперед-назад (вверх-вниз) — от угла места и скорости вылета снаряда. При этом снаряд попадает в цель лишь при строго определенном сочетании угла и скорости вылета. Изменение одной из этих характеристик при постоянном значении второй приводит к промаху. Исследования показывают, что главная трудность в достижении высокой целевой точности как раз и состоит в том, чтобы обеспечить правильное сочетание угла и скорости вылета. Например, отклонения (дисперсия) начальных характеристик вылета мяча — угла и скорости — у баскетболистов-«снайперов» такие же, как у тех, кто не отличается высокой точностью бросков. Но у первых избранный угол вылета соответствует скорости, а у вторых такого соответствия нет.

В достижении высокой целевой точности существенную роль играет техника выполнения упражнения, в частности такая организация движений, при которой облегчается исправление ошибок, допущенных по ходу попытки. Поскольку подобная коррекция происходит до того, как становится ясен итоговый результат действия, ее называют предварительной или прелиминарной (от лат. *pre* — перед и *limin* — порог) коррекцией. Например, при выполнении баскетбольных бросков с разных дистанций большая часть скорости вылета мяча создается движением ног, руки же обеспечивают тонкие корректирующие добавки.

Особенно трудно добиться необходимой точности при ударных действиях. Например, в футболе при ударе с 20 м достаточно ошибиться в точке приложения удара всего на 1 см, чтобы мяч отклонился от цели почти на 2 м. Поэтому более точны те удары, которые выполняются при относительно большой площади соприкосновения с мячом. Так, при ударах внутренней стороной стопы («щечкой») легче добиться необходимой точности, чем при ударах носком. Наиболее трудно добиться высокой точности при ударах по движущемуся мячу («в одно касание»). Биомеханическая основа этих затруднений состоит в следующем.

Мяч, ударяясь о плоскость под определенным углом, отскакивает от нее примерно под тем же углом<sup>1</sup>. Следовательно, если подставить, например, ракетку под мяч вертикально на разных участках его



Рис. 105.

Отражение мяча от ракетки, вертикально поставленной на разных участках его траектории

<sup>1</sup> Подробнее о закономерностях отскока мячей см. в § 58.1.



траектории, то он отразится по-разному (рис. 105). Чтобы отразить мяч в нужном направлении (не ударяя по нему), нужно подставить плоскость ракетки (или ноги) перпендикулярно к линии, делящей угол между направлениями полета мяча до и после отскока примерно пополам (рис. 106).

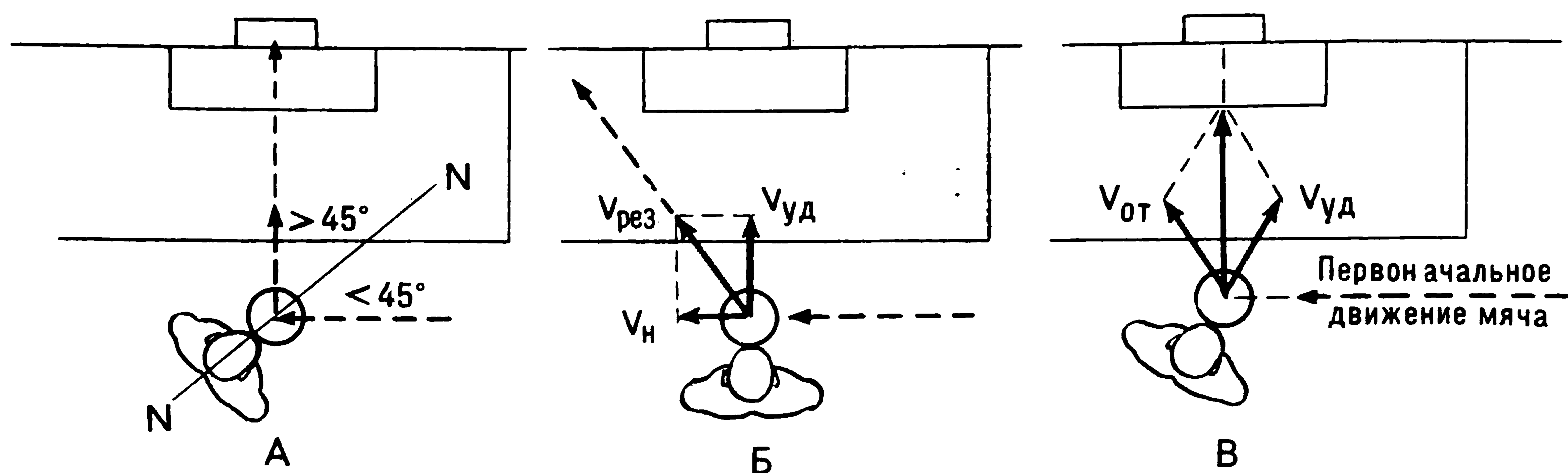


Рис. 106.

#### Удары по летящему мячу

**А** — голова подставлена под летящий мяч (без ударного движения). Мяч попадает в ворота, изменив направление полета на  $90^\circ$ . Линия  $NN$  делит угол, образованный траекторией мяча, примерно пополам. (Из-за того, что удар мяча о неподвижную преграду не вполне упругий, угол отскока несколько больше угла сближения.)

**Б** — спортсмен выполняет удар в направлении ворот — мяч летит мимо. Первоначальная скорость полета мяча  $V_n$  складывается геометрически со скоростью, приобретенной вследствие ударного движения  $V_{уд}$ . Мяч приобретает результирующую скорость  $V_{рез}$ .

**В** — спортсмен направляет свой удар мимо цели — мяч летит в цель.  $V_{пт}$  — скорость, которую приобрел бы мяч в результате отскока без ударного движения головой;  $V_{уд}$  — скорость, приобретаемая мячом в результате отскока при ударном движении головой (так полетел бы мяч, если бы он не имел до ударного взаимодействия начальной скорости)

При ударных действиях к первоначальной скорости мяча добавляется скорость, привносимая ударом. Они складываются геометрически (по правилу параллелограмма). В результате оказывается, что мяч после удара движется не в направлении действия силы удара. Мяч попадает в цель лишь в том случае, если направление и сила удара будут строго соответствовать направлению и скорости летящего мяча. Добиться такого соответствия трудно.

Целевая точность снижается при значительном увеличении скорости движений. Небольшие колебания скорости от попытки к попытке на точность попадания в цель не влияют. Целевая точность зависит также от расстояния и направления до цели.

## § 57. Ударные действия

### 57.1. Основы теории удара

Ударом в механике называется кратковременное взаимодействие тел, в результате которого резко изменяются их скорости. При таких взаимодействиях возникают столь большие силы, что действием всех остальных сил можно пренебречь.

Примерами ударов являются:

— удары по мячу, шайбе. В данном случае происходит быстрое изменение скорости по величине и направлению. Подобные удары с



последующим отскоком часто встречаются в перемещающих спортивных движениях;

— приземление после прыжков и соскоков (скорость тела спортсмена резко снижается до нуля). Особенно целесообразно рассматривать приземление как удар, если оно происходит на выпрямленные ноги или связано с падением;

— вылет стрелы из лука, акробата в цирке с подкидной доски и т. п. Здесь скорость до начала взаимодействия равна нулю, а затем резко возрастает.

Изменение ударных сил во времени происходит примерно так, как показано на рис. 107. Сначала сила быстро возрастает до наибольшего значения, а затем падает до нуля. Максимальное ее значение может быть очень большим. Однако основной мерой ударного взаимодействия является не сила, а ударный импульс, численно равный заштрихованной площади под кривой. Он может быть вычислен как интеграл:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt,$$

где  $S$  — ударный импульс,  $\int_{t_1}^{t_2}$  — знак интегрирования,  $t_1$  и  $t_2$  — время начала и конца удара,  $F(t)$  — зависимость ударной силы  $F$  от времени  $t$ .

За время удара скорость тела, например мяча, изменяется на определенную величину. Это изменение прямо пропорционально ударному импульсу и обратно пропорционально массе тела. Другими словами, ударный импульс равен изменению количества движения тела.

Последовательность механических явлений при ударе такова: сначала происходит деформация тел, при этом кинетическая энергия движения переходит в потенциальную энергию упругой деформации, затем потенциальная энергия переходит в кинетическую. В зависимости от того, какая часть потенциальной энергии переходит в кинетическую, а какая рассеивается в виде тепла, различают три вида удара:

1. Вполне упругий удар — вся механическая энергия сохраняется. Таких ударов в природе нет (всегда часть механической энергии при ударе переходит в тепло). Однако в некоторых случаях удары, например удар бильярдных шаров, близки к вполне упругому удару.

2. Неупругий удар — энергия деформации полностью переходит в тепло. Пример: приземление в прыжках и соскоках, удар шарика из пластилина в стену и т. п. При неупругом ударе скорости взаимодействующих тел после удара равны (тела объединяются).

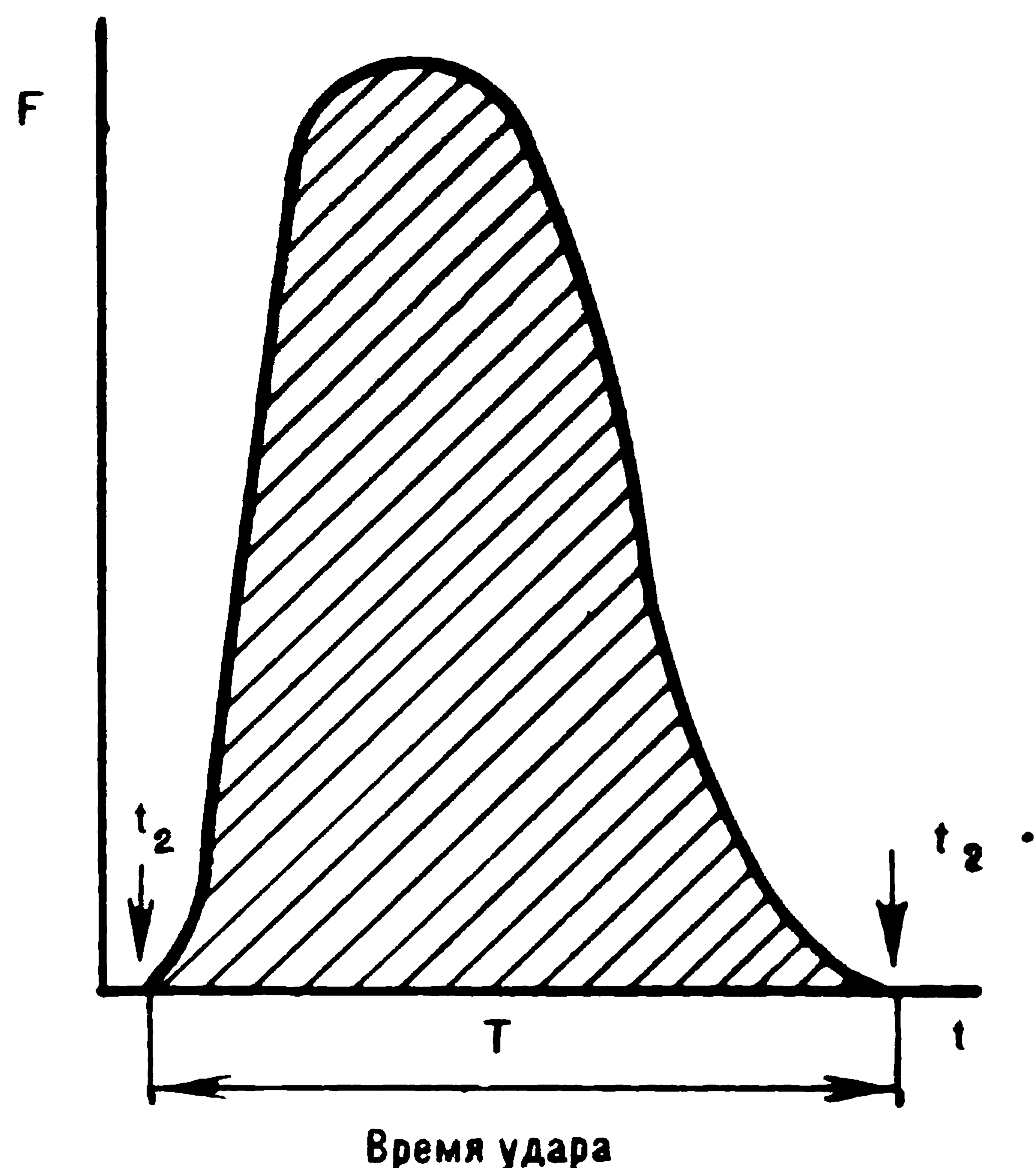


Рис. 107.

Изменение силы, действующей при ударе



3. Не вполне упругий удар — лишь часть энергии упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения.

Ньютон предложил характеризовать не вполне упругий удар так называемым коэффициентом восстановления. Он равен отношению скоростей взаимодействующих тел после и до удара. Коэффициент восстановления можно измерить так: сбросить мяч на жесткую горизонтальную поверхность, измерить высоту падения мяча ( $h_0$ ) и высоту, на которую он отскакивает ( $h_k$ ). Коэффициент восстановления равен:

$$K = \sqrt{\frac{h_k}{h_0}} = \frac{v_{\text{после удара}}}{v_{\text{до удара}}}.$$

Коэффициент восстановления зависит от упругих свойств соударяемых тел. Например, он будет различен при ударе теннисного мяча о разные грунты и ракетки разных типов и качества. Зависит коэффициент восстановления и от скорости ударного взаимодействия: с увеличением скорости он уменьшается. Например, по международным стандартам теннисный мяч, сброшенный на твердую поверхность с высоты 2 м 54 см (100 дюймов), должен отскакивать на высоту 1,35—1,47 м (коэффициент восстановления 0,73—0,76). Но если его сбросить, скажем, с высоты в 20 раз большей, то даже без сопротивления воздуха отскок возрастет меньше чем в 20 раз.

В зависимости от направления движения мяча до удара различают прямой и косой удары; в зависимости от направления ударного импульса — центральный и касательный удары.

При прямом ударе направление полета мяча до удара перпендикулярно к плоскости ударяющего тела или преграды. Пример: падение мяча сверху на горизонтальную поверхность. В этом случае мяч после отскока летит в обратном направлении.

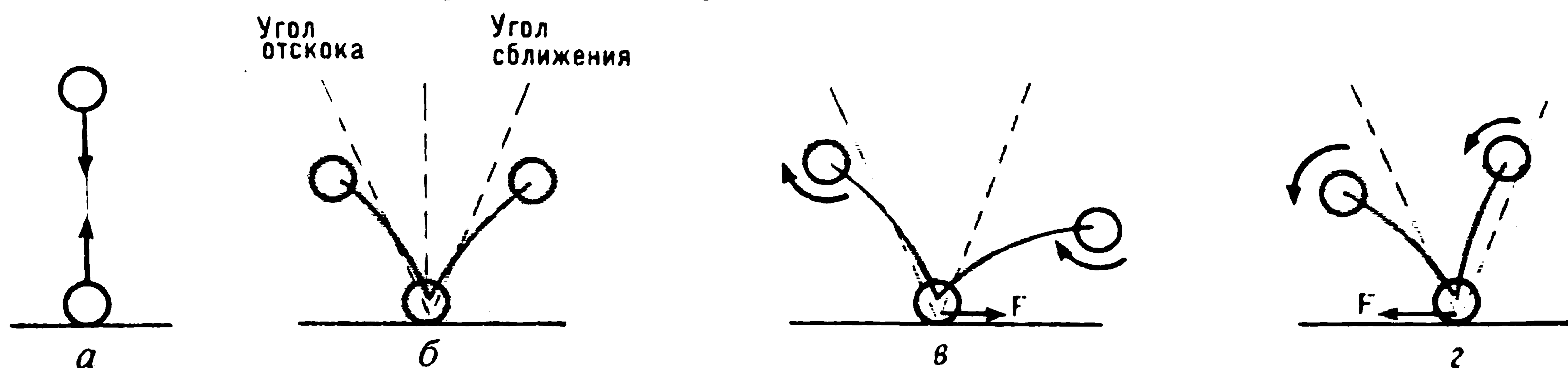


Рис. 108.

Различные варианты отскока мяча от неподвижной преграды

При косом ударе угол сближения (рис. 108) отличен от нуля. При идеальном упругом ударе углы сближения и отскока равны. При реальных (не вполне упругих) ударах угол отскока больше угла сближения, а скорость после отскока от неподвижной преграды меньше, чем до удара.

Центральный удар характеризуется тем, что ударный импульс проходит через ЦМ мяча. В этом случае мяч летит не вращаясь. При касательном ударе ударный импульс не проходит через ЦМ мяча — мяч



после такого удара летит с вращением (рис. 109). Как уже отмечалось в § 54, вращение мяча изменяет траекторию его полета. Изменяет оно также отскок мяча (см. рис. 108). Например, в настольном теннисе поступательная скорость крученого мяча (шарика) после отскока нередко выше, чем до соприкосновения со столом: часть кинетической энергии вращения переходит в энергию поступательного движения (см. направление горизонтальной составляющей сил реакции опоры при разных направлениях вращения мяча на рис. 108, в и г).

При центральном ударе двух упругих тел (например, двух бильярдных шаров) количество движения в системе этих тел остается постоянным:  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 = \text{const}$ , где  $m_1$  и  $m_2$  — массы первого и второго тела,  $v_1$  и  $v_2$  — их скорости до удара;  $u_1$  и  $u_2$  — их скорости после удара.

Если скорость одного из тел до удара равна нулю, то после удара она станет:

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1.$$

Из формулы видно, что скорость после удара будет тем больше, чем больше скорость и масса ударяющего тела (ударная масса). В более сложных случаях (нецентральный и не вполне упругий удар) картина сложнее, однако и в них скорость после удара будет тем выше, чем больше ударная масса и скорость тела, наносящего удар.

## 57.2. Биомеханика ударных действий

Ударными в биомеханике называются действия, результат которых достигается механическим ударом.

В ударных действиях различают:

1. Замах — движение, предшествующее ударному движению и приводящее к увеличению расстояния между ударным звеном тела и предметом, по которому наносится удар. Эта фаза наиболее вариативна.

2. Ударное движение — от конца замаха до начала удара.

3. Ударное взаимодействие (или собственно удар) — столкновение ударяющихся тел.

4. Послеударное движение — движение ударного звена тела после прекращения контакта с предметом, по которому наносится удар.

Уже говорилось, что при механическом ударе скорость тела (например, мяча) после удара тем выше, чем больше скорость ударяющего звена непосредственно перед ударом. При ударах в спорте такая зависимость необязательна. Например, при подаче в теннисе увеличение скорости движения ракетки может привести к снижению

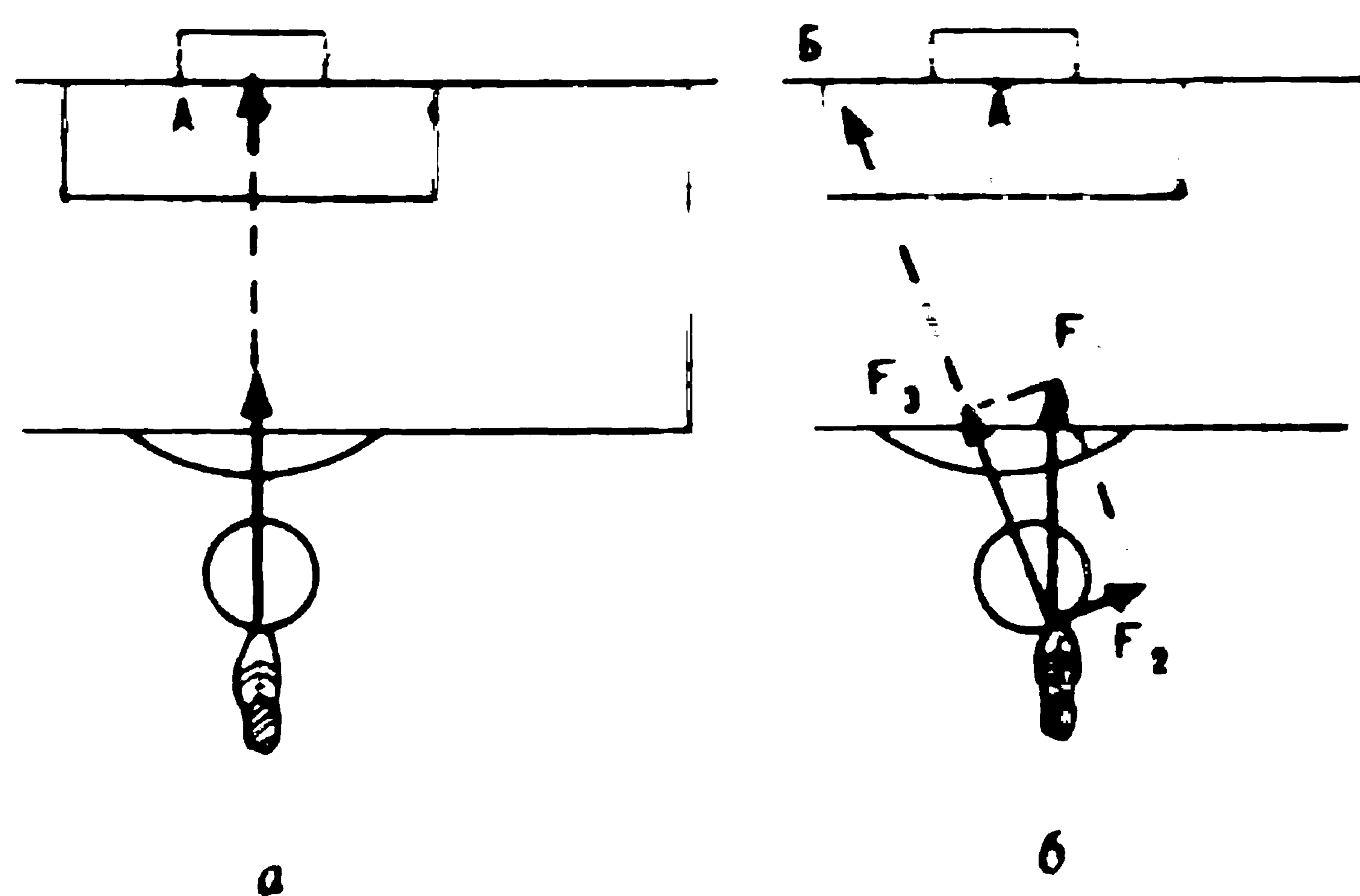
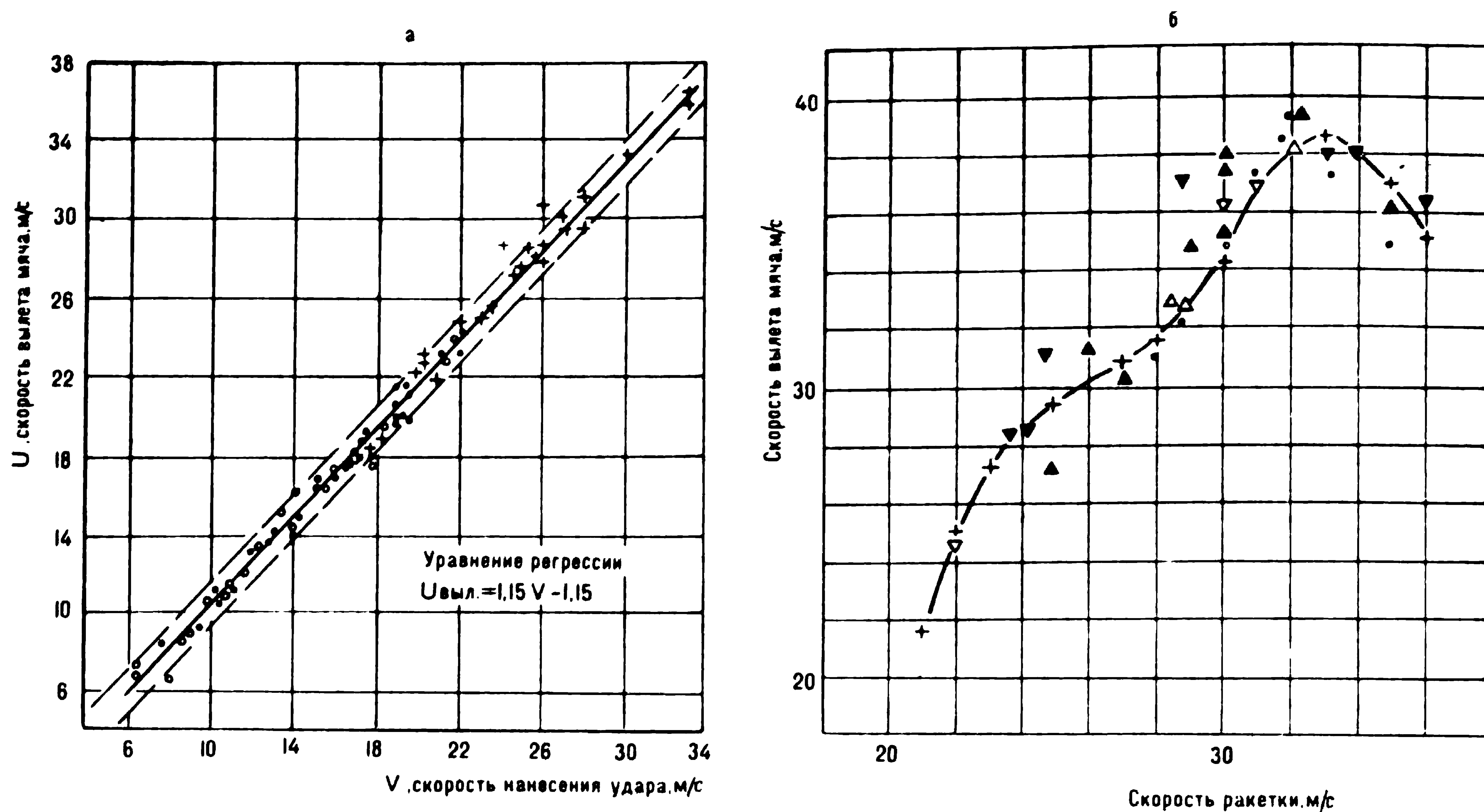


Рис. 109.

Центральный (а) и касательный (б) удары



скорости вылета мяча (рис. 110), так как ударная масса при ударах, выполняемых спортсменом, непостоянна<sup>1</sup>: она зависит от координации его движений. Если, например, выполнять удар за счет сгибания кисти или с расслабленной кистью, то с мячом будет взаимодействовать только масса ракетки и кисти. Если же в момент удара ударяющее звено закреплено активностью мышц-антагонистов и представляет собой как бы единое твердое тело, то в ударном взаимодействии будет принимать участие масса всего этого звена.



**Рис. 110.**

Зависимость скорости вылета мяча после удара от скорости ударного звена непосредственно перед ударным взаимодействием (К. Бартониетц):

а) удар средней частью подъема в футболе, б) подача в теннисе

Иногда спортсмен наносит два удара с одной и той же скоростью, а скорость вылета мяча или сила удара оказывается различной. Это происходит из-за того, что ударная масса неодинакова. Величина ударной массы может использоваться как критерий эффективности техники ударов. Поскольку рассчитать ударную массу довольно сложно, ее оценивают так:

Эффективность ударного взаимодействия =

$$\frac{\text{скорость мяча после удара}}{\text{скорость ударяющего сегмента до удара.}}$$

Этот показатель различен в ударах разных типов. Например, в футболе он изменяется от 1,20 до 1,65. Зависит он и от веса спортсмена.

Некоторые спортсмены, владеющие очень сильным ударом (в боксе, волейболе, футболе и др.), большой мышечной силой не

<sup>1</sup> Другая причина, вызывающая снижение скорости вылета мяча при увеличении скорости ракетки выше определенной величины, — несовершенные механические свойства мяча и ракетки. Например, при игре старыми мячами увеличение скорости ракетки может сравнительно рано перестать приводить к увеличению скорости мяча.



отличаются. Но они умеют сообщать большую скорость ударяющему сегменту и в момент удара взаимодействовать с ударяемым телом большой ударной массой.

Многие ударные спортивные действия нельзя рассматривать как «чистый» удар, основа теории которого изложена в предшествующем параграфе. В теории удара в механике предполагается, что удар происходит настолько быстро и ударные силы настолько велики, что всеми остальными силами можно пренебречь. Во многих ударных действиях в спорте эти допущения не оправданы. Время удара в них хотя и мало (табл. 10), но все-таки пренебрегать им нельзя; путь ударного взаимодействия, по которому во время удара движутся вместе соударяющиеся тела, может достигать 20—30 см.

Т а б л и ц а 10

Время соударения при спортивных ударных действиях

Вид удара	Время, мс
Удар в гольфе	1—2
Удар в теннисе	5—10
Удар в настольном теннисе	5—10
Нападающий удар в волейболе	12—20
Нижняя передача в волейболе	Около 30
Удар в хоккее на льду	40—60
Отталкивание в спринтерском беге	80—120

Поэтому в спортивных ударных действиях, в принципе, можно изменить количество движения во время соударения за счет действия сил, не связанных с самим ударом.

Это легко объяснить на таком примере. Представим, что автомобиль, едущий со скоростью 30 км/час, ударяется о подвижное препятствие. При этом возможны три ситуации:

1. Автомобиль едет с неработающим двигателем и невключенными тормозами. В системе «автомобиль — препятствие» действуют только ударные силы.

2. Двигатель включен, более того — автомобиль движется ускоренно. Тогда в конце удара его скорость будет больше, чем в начале, количество движения (импульс) системы возрастет, а на ударяемое тело подействует еще дополнительная сила, вызванная действием двигателя автомобиля.

3. Двигатель выключен, а тормозная система включена. Скорость и количество движения автомобиля уменьшатся из-за включенных тормозов.

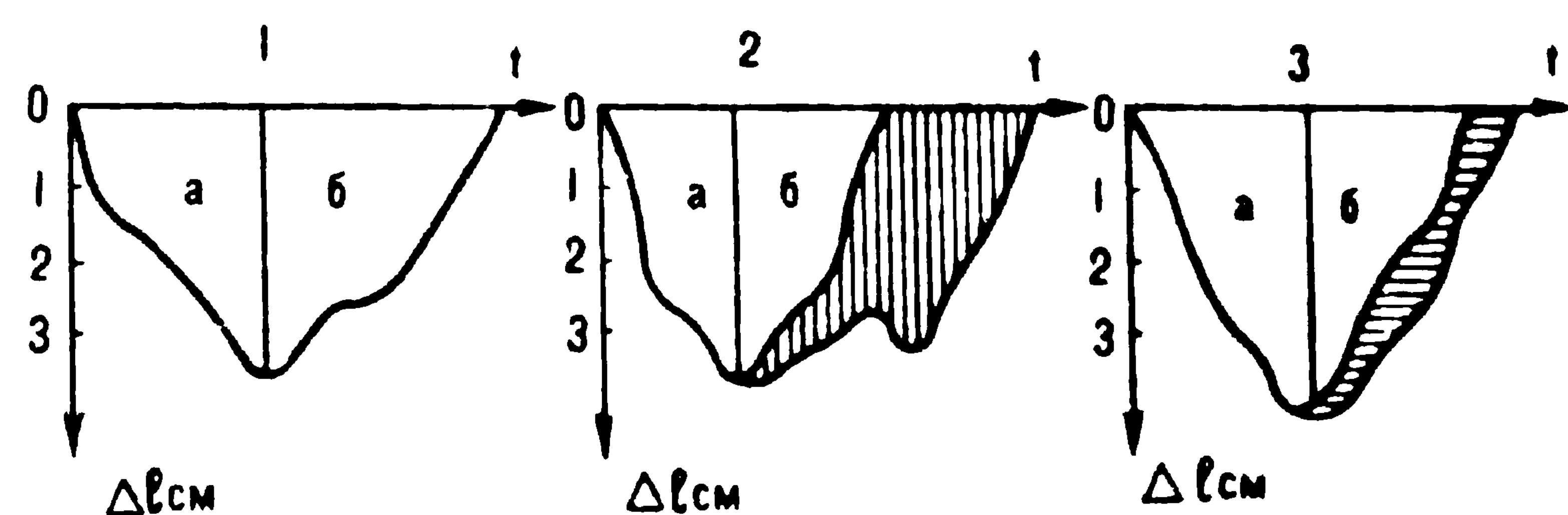


Рис. 111.

Деформация мяча при ударах разных типов (Г. П. Иванова, С. Л. Фетисова):

по абсциссе — время, по ординате — деформация мяча (величина деформации пропорциональна действующей силе, поэтому площадь под кривой пропорциональна импульсу силы).

1 — деформация только за счет ударной силы. Импульс в фазе амортизации (а) равен импульсу в фазе восстановления (б).

2 — импульс в фазе восстановления увеличен (ударяющее звено во время удара движется с ускорением). Вертикальная штриховка — добавочный импульс;

3 — импульс в фазе восстановления уменьшен (ударяющее звено во время удара движется с торможением). Горизонтальная штриховка — потери импульса



Описанное можно сравнить с действием мышц человека при ударах. Если ударное звено во время удара дополнительно ускоряется за счет активности мышц, ударный импульс и соответственно скорость вылета снаряда увеличиваются (рис. 111); если оно произвольно тормозится, ударный импульс и скорость вылета уменьшаются (это бывает нужно при точных укороченных ударах, например при передачах мяча партнеру). Некоторые ударные движения, в которых дополнительный прирост количества движения во время соударения очень велик, вообще являются чем-то средним между метаниями и ударами (так иногда выполняют вторую передачу в волейболе).

Координация движений при максимально сильных ударах подчиняется двум требованиям:

1) сообщение наибольшей скорости ударяющему звену к моменту соприкосновения с ударяемым телом. В этой фазе движения используются те же способы увеличения скорости, что и в других перемещающих действиях;

2) увеличение ударной массы в момент удара. Это достигается «закреплением» отдельных звеньев ударяющего сегмента путем одновременного включения мышц-антагонистов (показано впервые проф. Л. В. Чхаидзе в 1939 г.) и увеличения радиуса вращения. Например, в боксе и карате сила удара правой рукой увеличивается примерно вдвое, если ось вращения проходит вблизи левого плечевого сустава, по сравнению с ударами, при которых ось вращения совпадает с центральной продольной осью тела.

Время удара настолько кратковременно, что исправить допущенные ошибки уже невозможно. Поэтому точность удара в решающей мере обеспечивается правильными действиями при замахе и ударном движении. Например, в футболе место постановки опорной ноги определяет у начинающих целевую точность примерно на 60—80% (Г. А. Смирнов).

Тактика спортивных игр нередко требует неожиданных для противника ударов («скрытых»). Это достигается выполнением ударов без подготовки (иногда даже без замаха), после обманных движений (финтов) и т. п. Биомеханические характеристики ударов при этом меняются, так как они выполняются в таких случаях обычно за счет действия лишь дистальных сегментов (кистевые удары).

## Глава XI

### ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ И ГРУППОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОТОРИКИ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ БИОМЕХАНИКА)

Дифференциальной биомеханикой называется раздел биомеханики, изучающий индивидуальные и групповые особенности движений и двигательных возможностей людей. Подобные разделы существуют и в смежных научных дисциплинах. Так, дифференциальная психология изучает индивидуальные и групповые психологические различия и т. п.



## § 58. Телосложение и моторика человека

Как двигательные возможности людей, так и многие индивидуальные черты спортивной техники в значительной степени зависят от особенностей телосложения. К ним в первую очередь относят:

а) тотальные размеры тела — основные размеры, характеризующие его величину (длина тела, вес, окружность грудной клетки, поверхность тела и т. п.);

б) пропорции тела — соотношение размеров отдельных частей тела (конечностей, туловища и др.);

в) конституциональные особенности.

Тотальные размеры тела у людей существенно различны. В одном и том же виде спорта (например, в борьбе или тяжелой атлетике) можно встретить спортсменов с весом тела менее 50 и свыше 150 кг.

Двигательные возможности этих спортсменов будут разными.

При одинаковом уровне тренированности люди большего веса могут проявлять большую силу действия. С этим, в частности, связано деление на весовые категории в таких видах спорта, как борьба, бокс, тяжелая атлетика.

Для сравнения силовых качеств людей различного веса обычно пользуются понятием «относительная сила», под которым понимают величину силы действия, приходящейся на 1 кг собственного веса. Силу действия, которую спортсмен проявляет в каком-либо движении безотносительно к собственному весу, иногда называют абсолютной силой:

$$\text{Относительная сила} = \frac{\text{абсолютная сила}}{\text{собственный вес}}$$

У людей примерно одинаковой тренированности, но разного веса абсолютная сила с увеличением веса возрастает, а относительная падает (рис. 112). Аналогичные закономерности наблюдаются и в отношении некоторых других функциональных показателей (например, максимального потребления кислорода — МПК). В то же время, скажем, высота подъема о.ц.т. в прыжках или дистанционная скорость бега не зависят от тотальных размеров тела, а максимальная частота движений и стартовое ускорение уменьшаются с их увеличением. Биомеханическая основа этих явлений заключается в следующем

Предположим, что два спортсмена (А и Б) одинаково тренированы и во всех отношениях равны друг другу, но один из них в 1,5 раза круп-

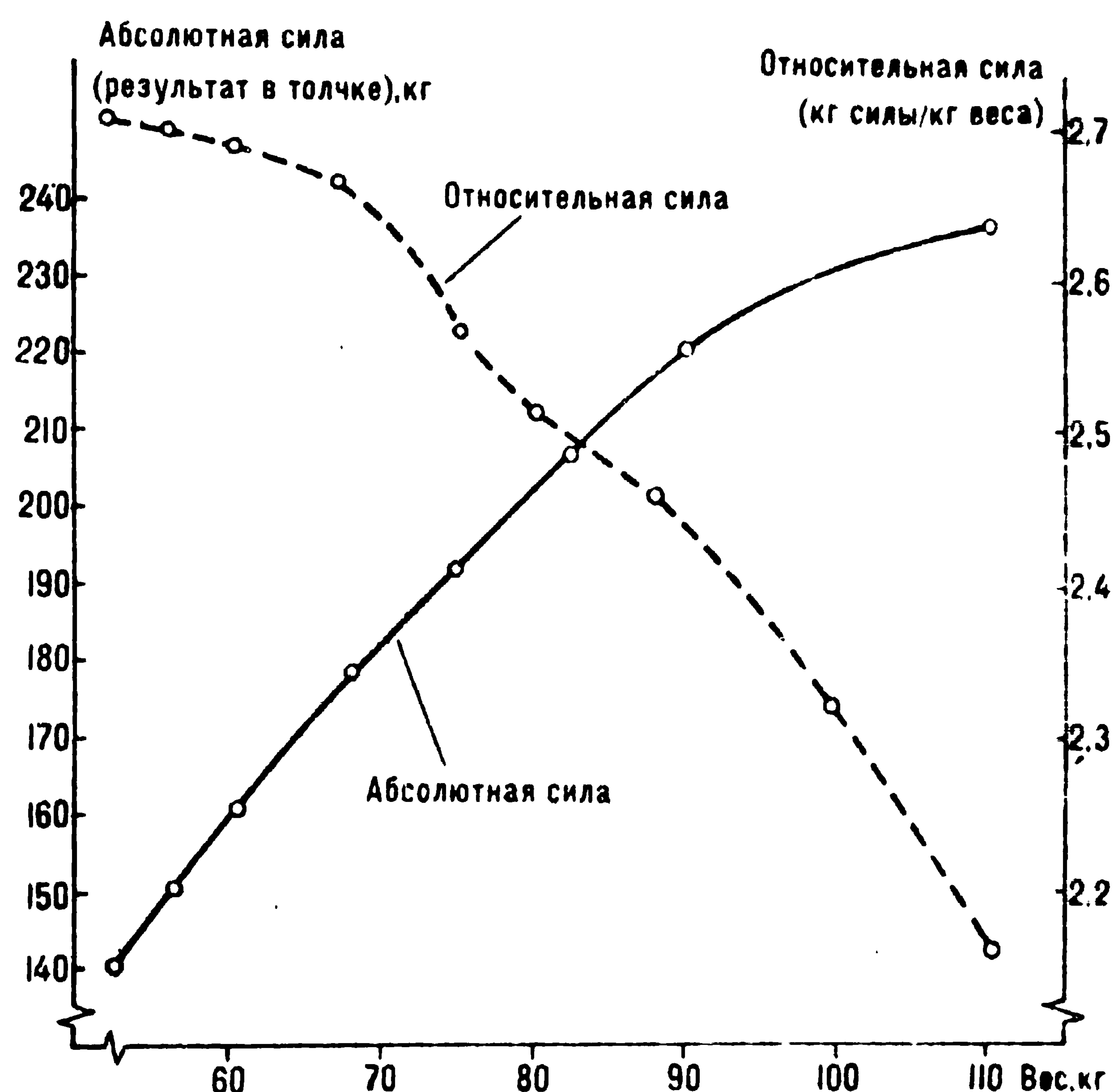


Рис. 112.

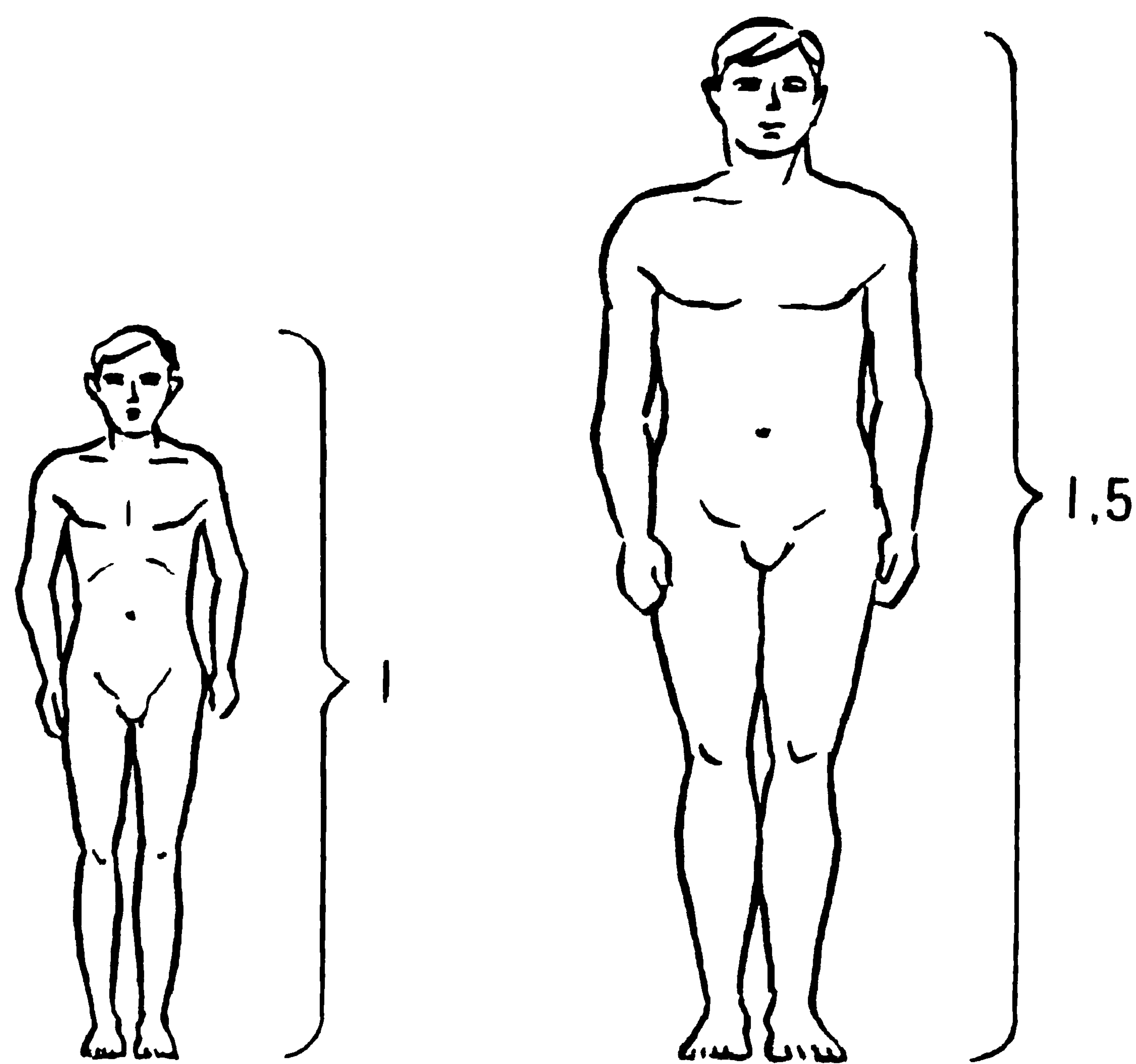
Зависимость абсолютной и относительной силы спортсменов от собственного веса (по данным мировых рекордсменов в толчке в тяжелой атлетике на 1 января 1977 г.)



нее другого (рис. 113); у одного из них рост 140 см, а у другого 210 см. Сопоставим линейные ( $h$  — длина, ширина, глубина), поверхностные ( $h^2$  — площадь сечений, поверхность тела) и объемные ( $h^3$  — объем и вес тела) размеры этих людей:

	А	Б
Линейные размеры	1	1,5
Поверхностные размеры (площади)	$1^2 = 1$	$1,5^2 = 2,25$
Объемные размеры	$1^3 = 1$	$1,5^3 = 3,375$

Видно, что если длина тела возрастает в 1,5 раза, то площади сечений ( $h^2$ , например, физиологические поперечники мышц) увеличатся в 2,25 раза, а, скажем, вес тела — в 3,375 раза. Поскольку



при прочих равных условиях сила тяги мышц определяется величиной их физиологического поперечника, то Б будет в 2,25 раза сильнее, чем А (например, поднимет вес в 2,25 раза больше). Но если этим людям надо поднимать собственное тело (т. е. проявлять относительную, а не абсолютную силу), то преимущество будет у А: ведь он легче в 3,375 раза.

Величина механической работы пропорциональна одновременно силе (т. е. физиологическому поперечнику  $h^2$ ) и пути действия силы ( $h$ ). Поэтому она пропорциональна линейным размерам тела в третьей степени ( $h^3$ ).

**Рис. 113.**

Люди, длина тела которых отличается в 1,5 раза (объяснение в тексте)

Высота подъема ОЦМ тела при прыжке вверх (высота прыжка) прямо пропорциональна той максимальной работе, которую мышцы могут совершить при отталкивании ( $\simeq h^3$ , где  $\simeq$  знак пропорциональности) и обратно пропорциональна весу тела ( $\simeq h^{-3}$ ). В результате высота прыжка не зависит от размеров тела, а высота планки, которую может преодолеть спортсмен, зависит (Объясните сами почему.)

При оценке максимальных показателей мощности людей разных тотальных размеров тела надо учитывать, что время выполнения движения (например, одного шага или выпрямления ноги при отталкивании или даже время дыхательного или сердечного цикла) при прочих равных условиях зависит от размеров тела. Это выводится из второго закона Ньютона ( $F = m \cdot a$ ). Рассмотрим, например, шаг при ходьбе. Длина шага ( $l$ ), очевидно, пропорциональна линейным размерам тела ( $h$ ); средняя скорость ноги  $\simeq l/t$ , где  $t$  — время одного шага; ускорение ( $a$ ) пропорционально  $l/t^2$ . Подставляя это в формулу второго закона Ньютона, получим:  $F = m \cdot l/t^2$ .

Поскольку мышечная сила пропорциональна  $h^2$ , вес тела  $\simeq h^3$ , а длина шага  $\simeq h$ , имеет место следующая пропорциональность:  $h^2 \simeq h^3 \cdot h/t^2$ .



Отсюда следует, что  $t^2 \simeq h^2$  и  $t \simeq h$ , т. е. с увеличением линейных размеров тела время отдельных движений увеличивается. Следствием этого является то, что максимальная мощность (т. е. работа, деленная на время) пропорциональна  $h^3/h = h^2$ . Максимальная частота движений обратно пропорциональна времени выполнения движений, и, следовательно, максимальная частота  $\simeq h^{-1}$ . Поскольку максимальная скорость бега равна произведению длины и частоты шагов, то она пропорциональна  $h \cdot h^{-1} = h^0 = 1$ , т. е. не зависит от размеров тела.

Другие показатели, характеризующие двигательные возможности человека, могут быть проанализированы подобным образом (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

Теоретически предсказанные изменения двигательных возможностей  
и некоторых морфофункциональных показателей человека при увеличении  
тотальных размеров тела ( $h$ )

Показатель	Пропорционален
Абсолютная сила	$h^2$
Относительная сила	$h^{-1}$
Механическая мощность	$h^2$
Частота движений	$h^{-1}$
Высота прыжка	$h^0$
Скорость бега	$h^0$
Стартовое ускорение	$h^{-1}$
Жизненная емкость легких	$h^3$
Максимальная легочная вентиляция	$h^2$
Максимальное потребление кислорода	$h^2$
Систолический объем крови	$h^3$

Часто за основу такого анализа берут не линейные размеры, а вес тела, который сам пропорционален кубу этих размеров. Тогда, например, для мышечной силы можно записать:  $F = k (\sqrt[3]{W})^2 = kW^{2/3}$ , где  $F$  — максимальная сила действия, которую может проявить спортсмен,  $W$  — его вес,  $k$  — параметр, характеризующий подготовленность спортсмена.

Разумеется, подобного рода уравнения и зависимости типа приведенных в табл. 11 не могут быть идеально точными. Ведь они очень многое не учитывают. Например, люди больших тотальных размеров геометрически не вполне подобны людям маленького роста и веса (скажем, если один человек тяжелее другого в 2 раза, вес его головы или кистей не обязательно будет в 2 раза больше). Не учтены физиологические различия этих людей (скажем, различная активность гипофиза, что, возможно, и было одной из причин больших различий в размерах тела), а также психологические факторы (замечено, что дети, отличающиеся по тотальным размерам от своих сверстников, меньше участвуют в играх и, следовательно, имеют меньше возможностей для развития моторики). Тем не менее многочисленные проверки показали, что данные, приведенные в табл. 11, в принципе справедливы.

Пропорции и конституциональные особенности тела, как и тотальные размеры, влияют на выбор вида спорта, узкой специализации



в рамках данного вида, используемого варианта спортивной техники, а также тактики действий на соревнованиях (например, в единоборствах).

Так, техника подъема штанги различна у тяжелоатлетов одной и той же весовой категории и примерно с одной и той же длиной тела, но разными пропорциями (длинные ноги — короткое туловище или короткие ноги — длинное туловище и т. п.). В борьбе спортсмены более низкого роста (по сравнению со своим противником) не показывают высокой результативности, применяя, скажем, такие приемы, как броски прогибом; броски через спину и подхватом в этом случае, как правило, более эффективны.

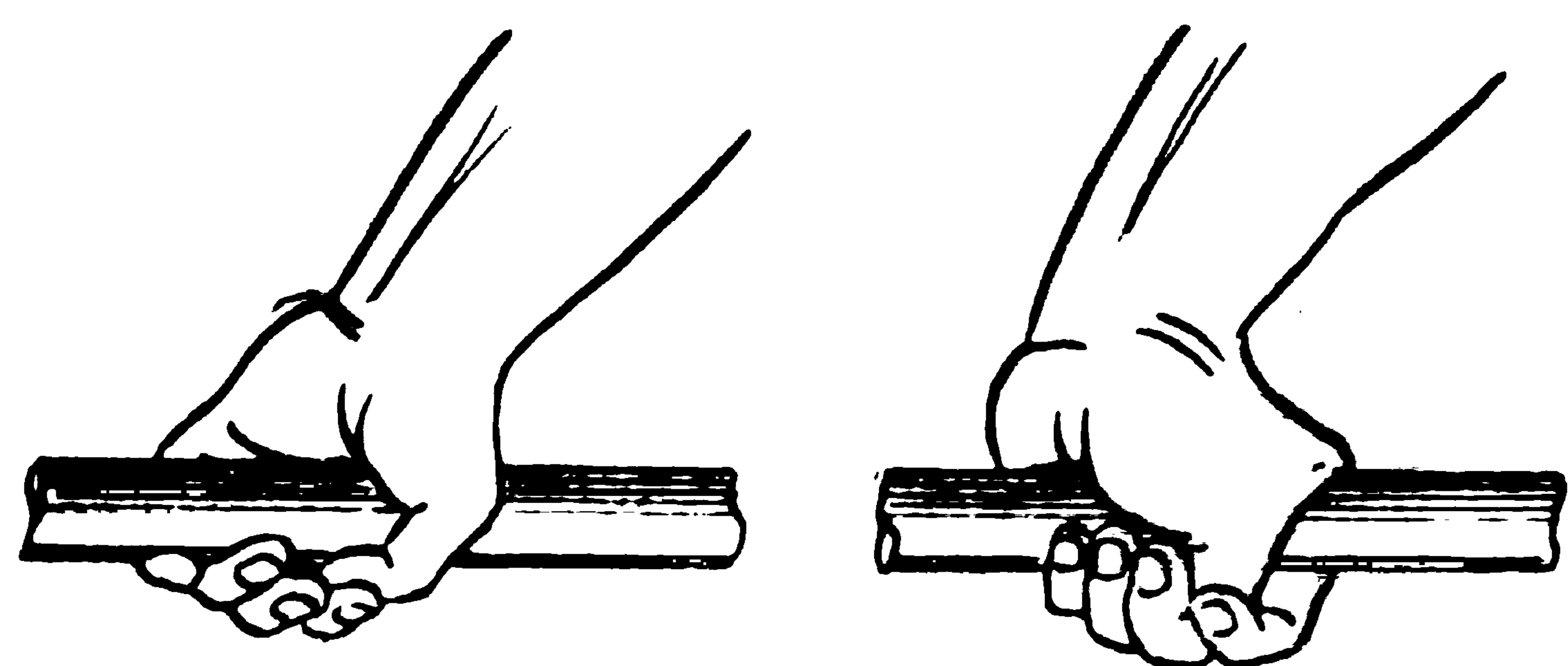


Рис. 114.

Захват штанги при выполнении рывка спортсменами с короткими (слева) и длинными (справа) кистями

У спортсменов высокого класса даже отдельные мелкие особенности телосложения могут иметь значение. Например, у тяжелоатлетов длинная кисть позволяет захватить штангу при рывке всеми пальцами: при короткой кисти захват выполняется лишь тремя пальцами, что снижает его силу (рис. 114). Не случайно у большинства рекорсменов мира в рывке длина кистей выше средних размеров (П. Добрев).

В практической работе тренеры должны учитывать неодинаковые двигательные возможности людей с различным строением тела.

## § 59. Онтогенез моторики

Онтогенезом моторики называется изменение движений и двигательных возможностей человека на протяжении его жизни. Новорожденный — существо, не владеющее даже простейшими произвольными движениями. С возрастом его двигательные возможности расширяются, достигают расцвета в молодости и постепенно снижаются к старости.

### 59.1. Роль созревания и научения в онтогенезе моторики

Два основных фактора определяют развитие моторики — созревание и научение.

С о з р е в а н и е м называются наследственно обусловленные изменения анатомического строения и физиологических функций организма, происходящие в течение жизни человека: увеличение размеров и изменение формы тела ребенка в процессе его роста, изменения, связанные с половым созреванием, старением и др. В раннем детстве громадное значение имеет дозревание нервно-мышечного аппарата (в частности, коры больших полушарий головного мозга, которая к моменту рождения еще не сформировалась). В основных чертах двигательный аппарат ребенка формируется лишь к 2—2,5 годам.

П о д н а у ч е н и е м понимают освоение новых движений или



совершенствование в них под влиянием специальной практики, обучения или тренировки.

Не всегда легко определить, что лежит в основе того или иного изменения двигательных показателей — созревание или научение, особенно в младенческом и преддошкольном возрасте (до 3 лет). Например, почему младенец начинает сам сидеть, стоять, ходить? Потому, что он научился этому или вследствие того, что его нервная система и мышечный аппарат настолько созрели, что он оказывается в состоянии это сделать без обучения и поэтому обучать его подобным движениям вовсе не надо?

Подобные вопросы часто исследуют на идентичных близнацах<sup>1</sup>: одного из них обучают, а другого нет. Оказывается, есть такие позы и движения (сидение, стояние, ходьба, произвольное мочеиспускание и др.), специальное обучение которым в младенческом возрасте практически не ускоряет овладения ими. Приходит время, и дети, не подвергавшиеся специальной тренировке, догоняют своих братьев и сестер (рис. 115). Такого рода факты привели некоторых западных ученых к мысли о том, что главное в онтогенезе моторики в раннем детском возрасте — созревание. Они предполагали, что все основные движения наследуются ребенком от родителей и проявляются вонне по мере того, как созревает его нервная система и двигательный аппарат.

Эта теория является неправильной. Также неправильна и противоположная точка зрения, согласно которой ребенка в любом возрасте можно научить чему угодно, лишь бы была соответствующая методика обучения. Исследователи, стоящие на этой точке зрения, вовсе отрицают роль созревания.

В действительности же научение эффективно лишь тогда, когда достигнута необходимая степень анатомо-физиологической зрелости организма, и вовсе без обучения (хотя бы в виде возможности наблюдать правильный образец) овладение новыми движениями невозможно. Это доказывается, в частности, тем, что дети, выключенные из человеческого общества, не овладевают типичными для человека движениями, например прямохождением.

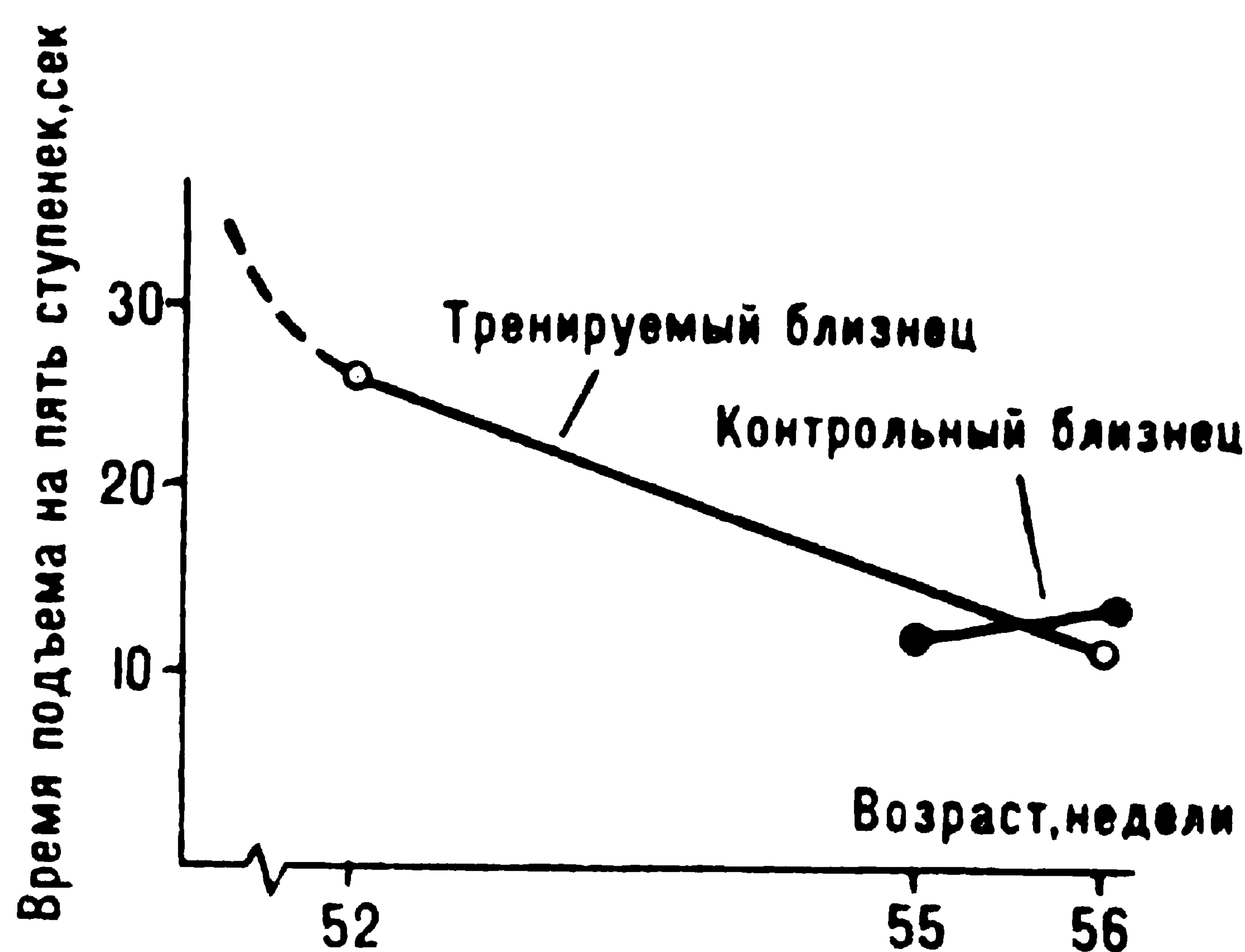


Рис. 115.

Влияние ранней тренировки на скорость лазания по лестнице у пары идентичных близнецов (по Гезеллу и Томсону).

По абсциссе — возраст (недели). По ординате — время лазания по лестнице на 5 ступенек.

Один из близнецов стал практиковаться в лазании по лестнице в возрасте 46 недель, второй только в 55 недель. Видно, что он сразу же догнал своего брата.

<sup>1</sup> Идентичные (монозиготные, или однояйцовые) близнецы являются генетически тождественными: они развились на основе одного и того же набора генов. Такие близнецы всегда одного пола, очень похожи друг на друга, имеют одинаковые отпечатки пальцев, одну и ту же группу крови и т. п. Неидентичные (дизиготные, или двуяйцовые) близнецы являются генетически различными, находятся между собой в такой же степени родства, как обычные братья и сестры.

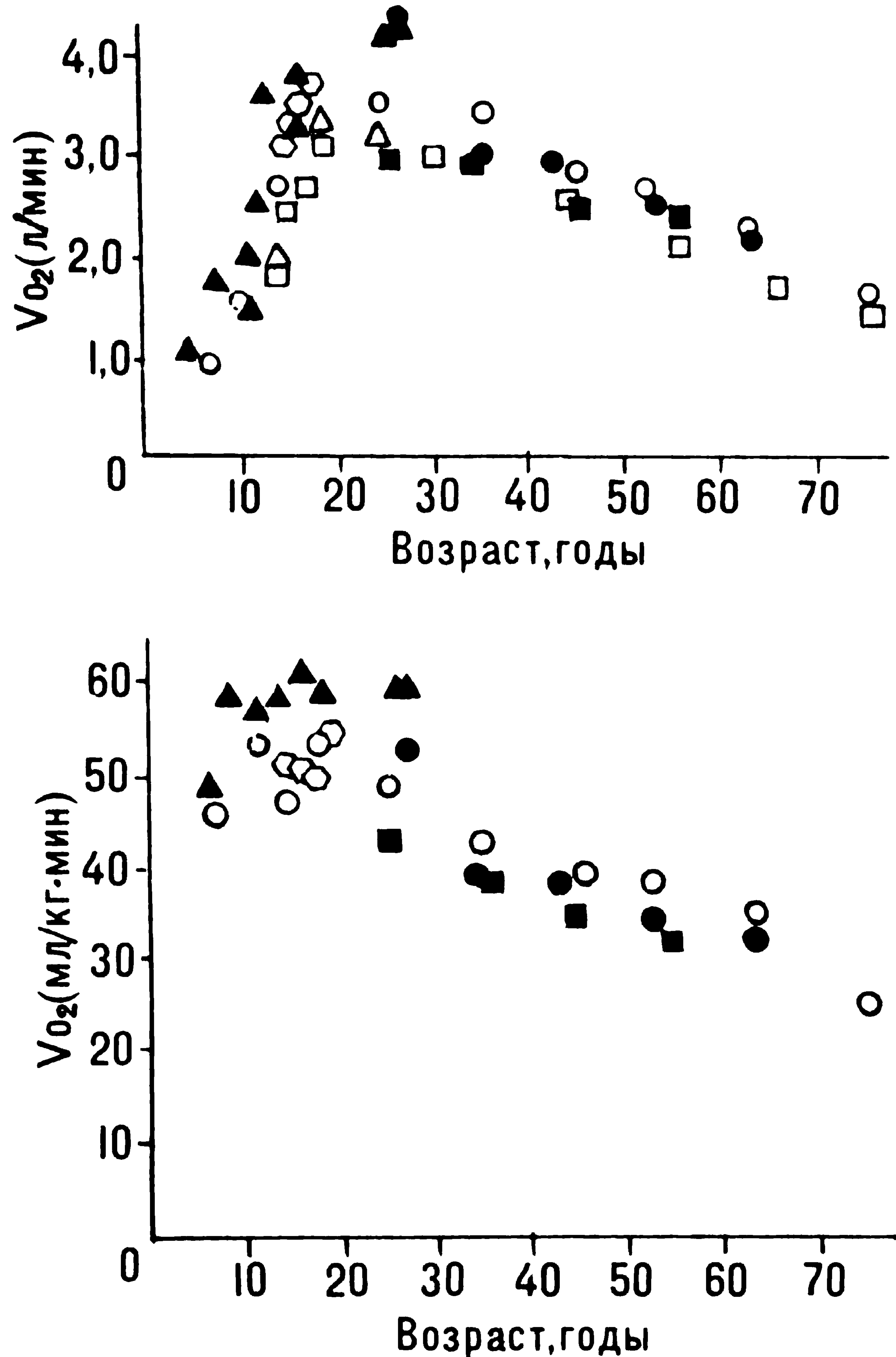


Об этом говорят материалы изучения нескольких детей в Индии, воспитанных среди волков (науче известно сейчас несколько таких случаев), а также известная история Каспара Хаузера — юноши, который был заключен в младенческом возрасте в одиночную камеру и никогда не видел людей. Его обнаружили в 1828 г. Несколько лет спустя он был похищен неизвестными (предполагается, что он был жертвой междоусобных распрей немецких владетельных князей). Во всех этих случаях типично человеческие движения отсутствовали.

Таким образом, онтогенез моторики определяется взаимодействием созревания и научения. При попытках, в частности, раздельного обучения близнецов было показано, что сроки овладения некоторыми движениями (например, начало ходьбы) не изменялись под влиянием обучения и помощи; другие движения осваивались намного быстрее обычного (например, можно обучить ребенка катанию на роликовых коньках одновременно с началом ходьбы, а обучить плавать даже раньше, чем ходить). Однако иногда чрезмерно раннее обучение мешает овладению движением. Например, годовалые дети, ежедневно обучавшиеся в течение полугода езде на трехколесном велосипеде, хуже ездили на нем впоследствии из-за неправильных навыков и потери

интереса, чем дети, которые впервые сели на велосипед в более позднем возрасте.

Созревание у детей проявляется, в частности, в их росте, т. е. увеличении тотальных размеров и изменении пропорций тела. Как указывалось в § 58 (см., в частности, табл. 11), увеличение тотальных размеров по-разному влияет на двигательные показатели. Одни из них (например, скорость бега, высота прыжка) не зависят от размеров тела, другие (например, относительная сила, величина МПК, приходящаяся на 1 кг веса тела, и зависящая от нее критическая скорость) снижаются с увеличением тотальных размеров. Увеличение размеров тела у детей в процессе роста тоже должно было бы приводить к таким изменениям. Однако здесь картина более сложная. Если говорить, например, об относительной силе, то созревание ребенка выражающееся, в частности, в его росте, должно приводить к снижению относительной силы. Но в процессе созревания происходят такие анатомо-физиологические перестройки в организме,



**Рис. 116.**

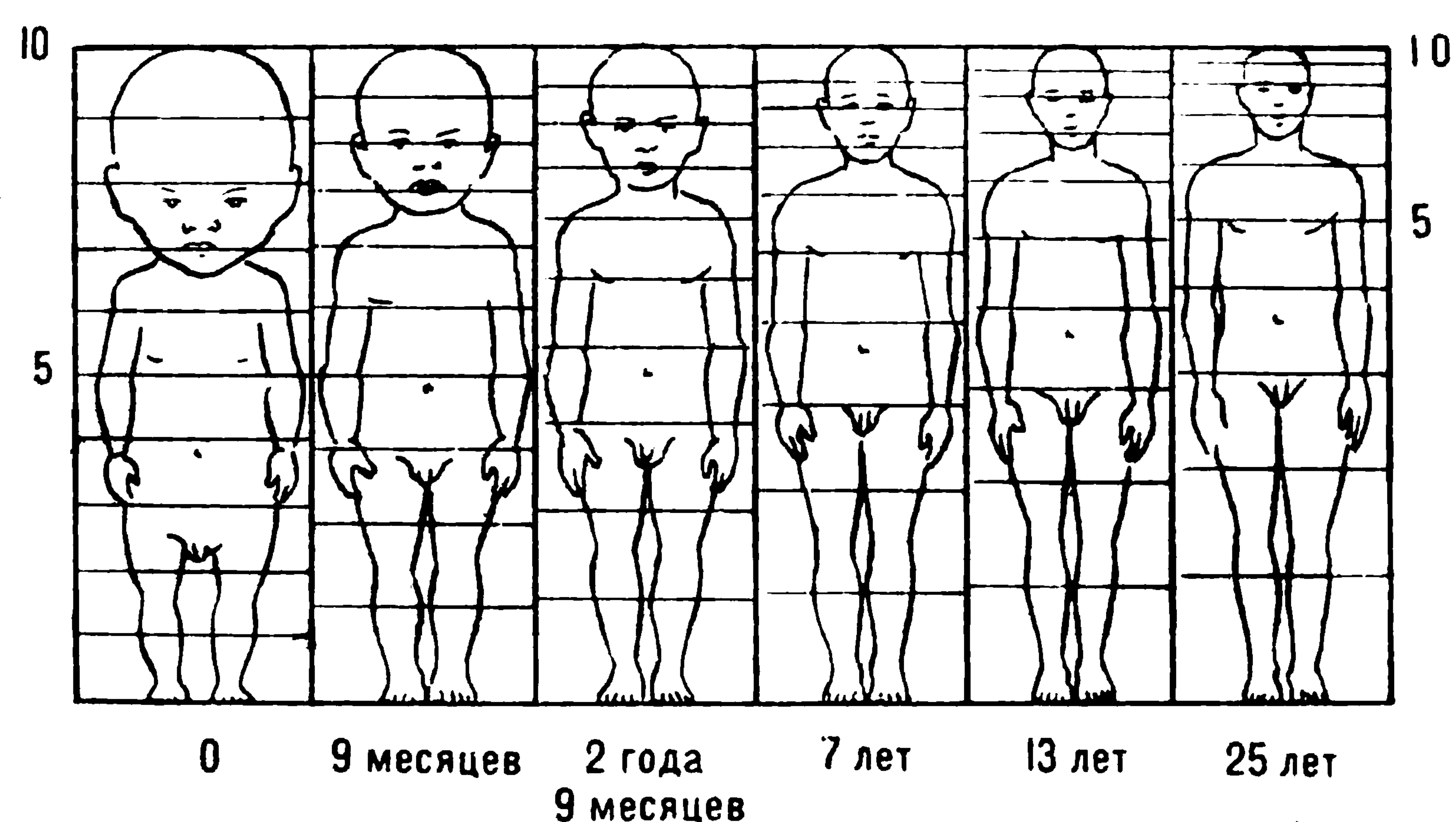
Изменение МПК в абсолютных (мл/мин, вверху) и относительных (мл/кг·мин, внизу) единицах

Сводные данные нескольких исследователей. В возрасте от 7 до 20 лет происходит резкое увеличение абсолютных величин МПК (в мл/мин) и практически не изменяются относительные показатели (мл/мин·кг). После 30 лет постепенно снижаются аэробные возможности (по Х. Кнуттгену)



которые вызывают увеличение силовых возможностей. В результате нередко относительная сила у детей длительное время не изменяется, т. е. абсолютные силовые показатели растут в той же мере, что и собственный вес ребенка (если, конечно, он не занимается специально силовыми упражнениями). Поэтому юные гимнасты при соответствующем уровне подготовки могут поднимать свое тело так же успешно, как и взрослые спортсмены. Совершенно аналогичная картина наблюдается и в отношении других показателей, которые изменяются пропорционально квадрату линейных размеров тела ( $\approx h^2$ , где  $h$  — линейный размер тела, например длина тела). У детей школьного возраста такие показатели изменяются мало (рис. 116).

У детей одного возраста, но с разными размерами тела зависимость спортивных результатов от длины тела, в принципе, такая же, как и у взрослых. Например, максимальная скорость бега не зависит от тотальных размеров (рис. 117). Однако есть и существенное различие. Большая длина тела нередко свидетельствует о более раннем созревании, в частности о наступлении полового созревания, что сопровождается очень большими перестройками в организме. Поэтому в 14 лет у мальчиков (возраст полового созревания) отмечается положительная зависимость между длиной тела и максимальной скоростью бега. В 11 и 18 лет такой зависимости нет, что находится в полном соответствии с данными табл. 11.

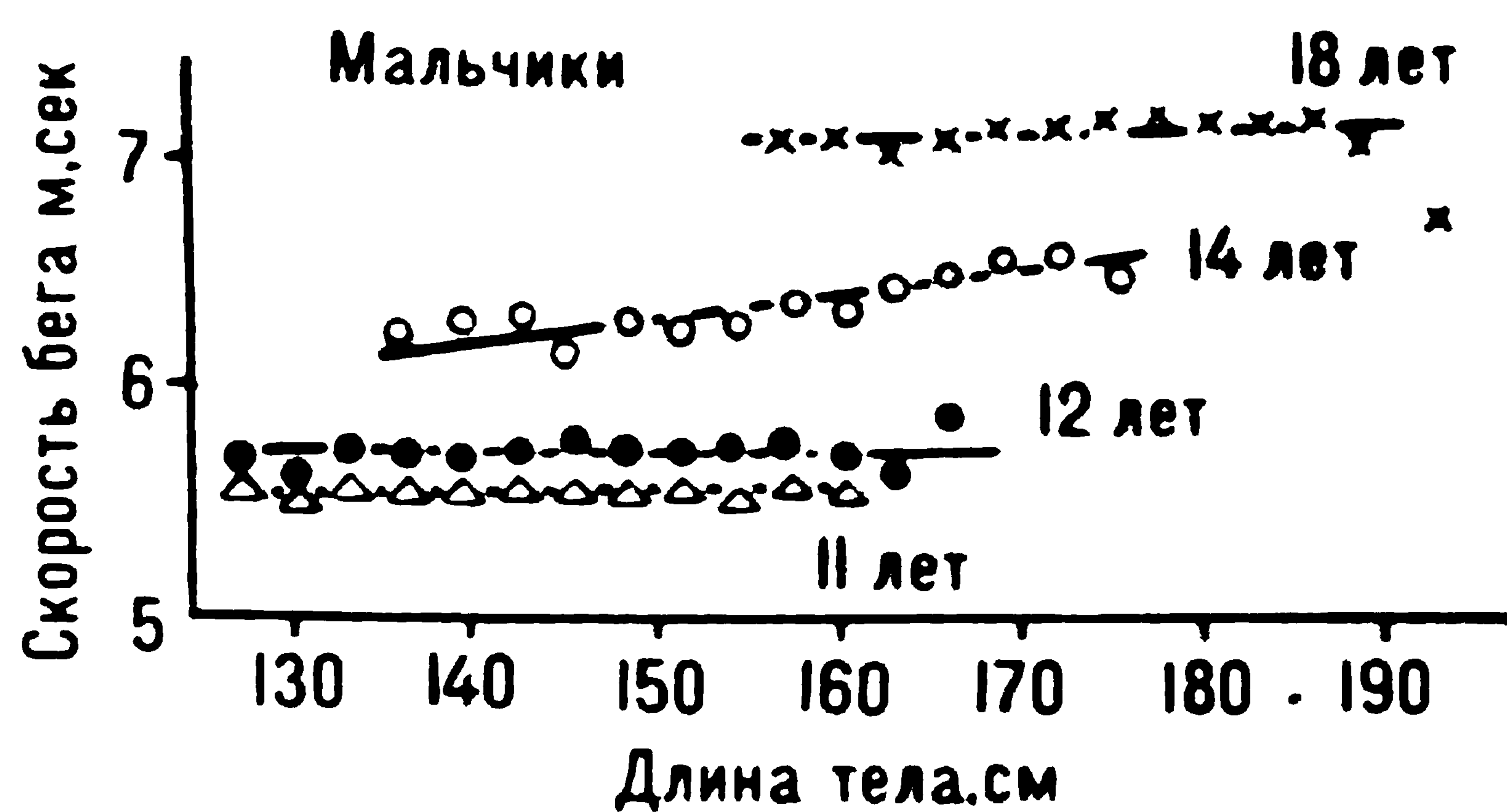


**Рис. 118.**

Изменение пропорций тела в процессе роста ребенка

Длина тела новорожденного (крайний рисунок слева) разделена на 10 равных частей. Видно, как по-разному изменяется их относительная длина (в % к длине тела) в процессе роста

Рост связан с изменением пропорций тела (рис. 118). Это также влияет на показатели моторики. Например, при одной и той же длине тела дети более старшего возраста делают при беге шаги большей длины. Частично это объясняется тем, что у них в среднем более длинные ноги.



**Рис. 117.**

Максимальная скорость бега у детей разного возраста с разными тотальными размерами тела (данные около 100 000 детей и юношей) — по Ф. Баху

По абсциссе — длина тела. По ординате — максимальная скорость бега, м/с

Если же сравнивать детей разного возраста, но имеющих одинаковую длину тела (см. рис. 117), то старшие бегут быстрее, что, конечно, совершенно, естественно.



## 59.2. Двигательный возраст

Если измерить результаты в каких-либо двигательных заданиях большой группы детей одного возраста, то можно определить средние достижения, которые они показывают. Зная затем результаты отдельного ребенка, можно установить, какому возрасту в среднем соответствует данный результат. Таким образом определяют двигательный возраст детей. Например, в прыжках в длину с места различным результатам соответствует следующий двигательный возраст:

Результат, см	Двигательный возраст, годы и месяцы
170	12—5
180	13—4
190	14—2
200	14—10

Это означает, что результат 170 см показывают дети в среднем в 12 лет и 5 месяцев (и наоборот, дети в 12 лет и 5 месяцев в среднем прыгают в длину с места на 170 см). Конечно, не все дети одного и того же возраста

показывают одинаковые результаты. Детей, у которых двигательный возраст опережает календарный, называют двигательными акселерантами. Детей, у которых двигательное развитие отстает, называют двигательными ретардантами. Например, если подросток в возрасте 14 лет и 2 месяца прыгает в длину с места на 170 см, он двигательный ретардант (в этом упражнении), а если его результат более 210 см, — двигательный акселерант.

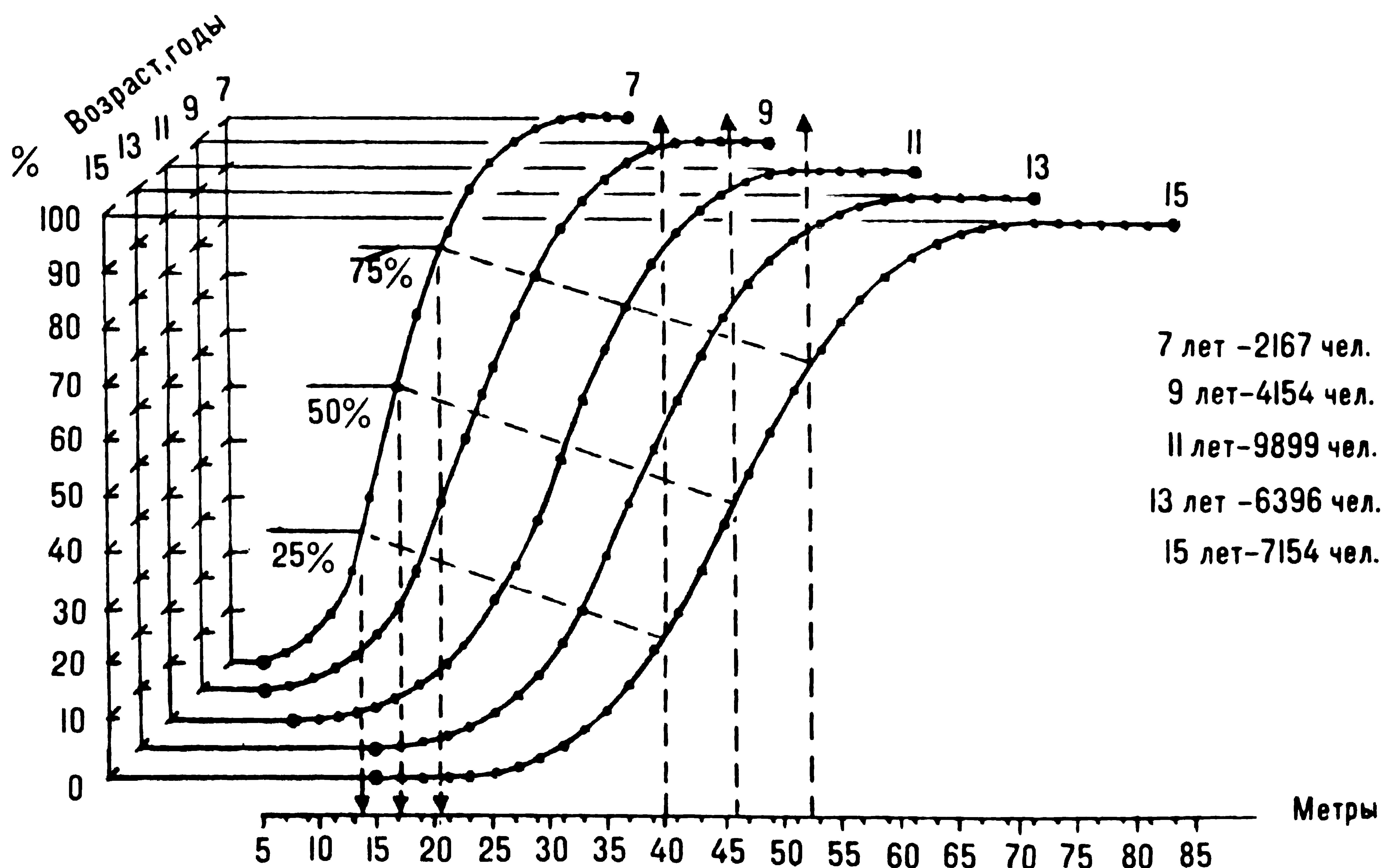


Рис. 119.

Функции распределения результатов в метании мяча 150 г у мальчиков ГДР (Р. Штеммлер) По абсциссе — результат в метании. По ординате (в глубину графика) — возраст. По аппликате — процент детей, показавших результат, равный данному или хуже. Пунктиром показаны результаты, доступные соответственно 25, 50 и 75% детей. Например, 25% мальчиков 15 лет метают мяч не далее 40 м. На графике указано также количество испытуемых в каждой возрастной группе



Акселеранты в одних двигательных заданиях могут быть ретардантами в других. Полные акселеранты или ретарданты встречаются редко.

Методы математической статистики позволяют точно определить, какой процент людей в состоянии показать тот или иной результат. На рис. 119 приведены как пример функции распределения результатов в метании мяча у детей разного возраста. Из рисунка видно, в частности, что 75% детей 7-летнего возраста показывают результат менее 21 м, 50% — менее 17 м и т. п. Видно также, что есть такие 9-летние дети, которые метают мяч на 40 м. Такой результат недоступен примерно 25% 15-летних детей. Подобного рода данные используют при отборе талантливых в спортивном отношении детей.

Если ребенок почему-либо попадает в неблагоприятные условия (болезнь, недостаточное питание и т. п.), то темпы развития моторики у него замедляются. Однако после устранения этих вредных влияний, если они не были чрезмерными, его двигательные возможности развиваются ускоренными темпами, так что он возвращается, как в данном случае говорят, в свой канал развития. Подобное свойство живых организмов (оно касается не только движений, но и других показателей) называют канализированием или гомеорезом<sup>1</sup>. Пример показан на рис. 120.

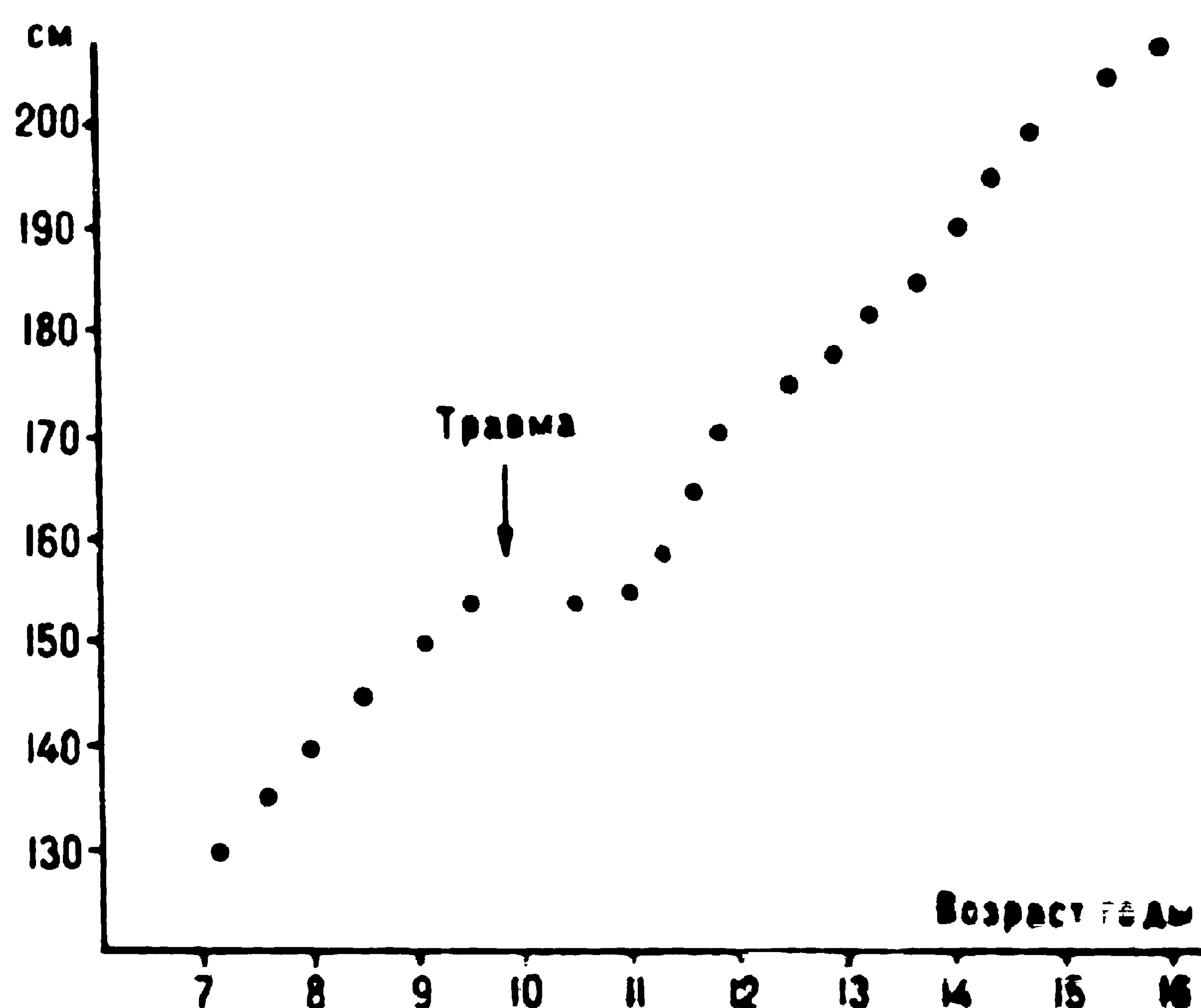


Рис. 120.

Влияние травмы (сложный перелом руки и ноги) на изменение результатов в прыжках в длину с места.

Длительные наблюдения за одним и тем же мальчиком в возрасте от 7 до 16 лет. Ясно видно явление канализирования (гомеореза) после выздоровления результаты росли быстрее и произошло полное восстановление двигательных возможностей. Специальной тренировки в прыжках ни в одном возрасте у испытуемого не было.

### 59.3. Прогноз развития моторики

При начальном выборе спортивной специализации, отборе в ДЮСШ и некоторые специальные школы (балетную, цирковую и др.) встает задача прогноза двигательной одаренности. Как порекомендовать ребенку именно тот вид спорта, в котором он сможет добиться наибольших успехов, как выявить наиболее одаренных? Для ответа на эти вопросы проводят научные исследования в двух основных направлениях:

- а) изучение стабильности показателей моторики,
- б) изучение наследственных влияний.

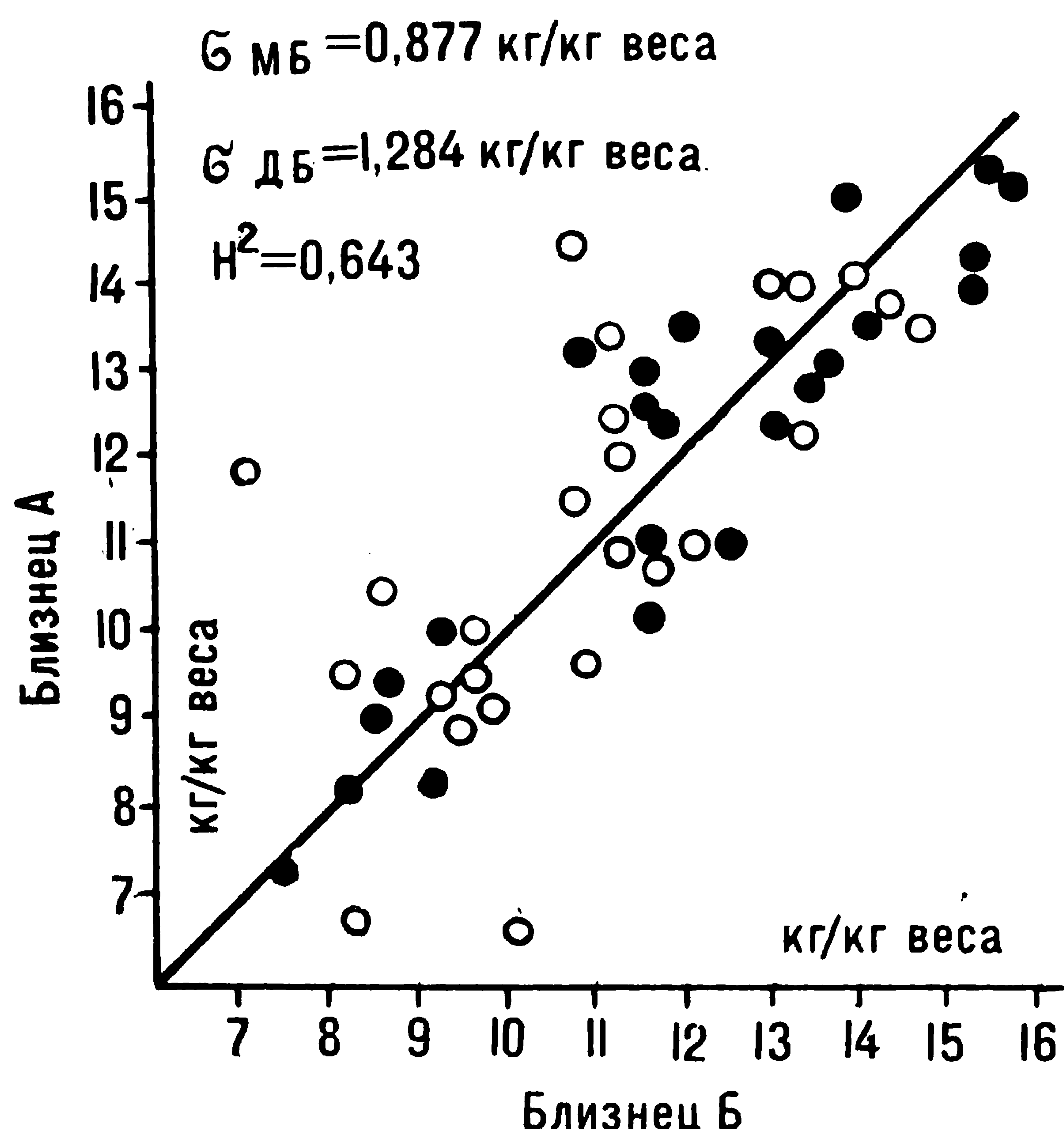
При изучении стабильности показателей моторики измеряют, например, у 7-летних детей скорость бега, силу, выносливость и другие

<sup>1</sup> В отличие от гомеостаза, т. е. поддержания постоянства условий в стабильных биологических системах, гомеорезом называют поддержание постоянства в развивающихся системах.



показатели. Чтобы определить, что будет с этими детьми через 10 лет (останутся ли самые быстрые наиболее быстрыми, сохранят ли сильные или выносливые свое преимущество над сверстниками), надо в течение ряда лет наблюдать одну и ту же группу детей, находящихся в примерно одинаковых условиях.

Значения признака в детские годы называют ювенильными, у взрослых людей — дефинитивными. Для оценки стабильности рассчитывают коэффициенты корреляции между ювенильными и дефинитивными показателями — коэффициенты стабильности. Исследования показывают, что стабильность разных двигательных показателей неодинакова. В частности, довольно стабильными являются показатели, связанные с выносливостью. Так, Н. Ж. Булгаковой были получены следующие коэффициенты стабильности результатов в плавании на разные дистанции: 50 м — 0,444, 100 м — 0,542, 200 м — 0,622, 400 м — 0,663, 800 м — 0,851.



**Рис. 121.**

Зависимость между показателями относительной силы у близнецов (В. М. Зациорский, Л. П. Сергиенко).

По ординате — данные близнеца, который родился первым. По абсциссе — данные близнеца, родившегося вторым. Черные кружки — идентичные близнецы; белые — неидентичные. Если бы результаты близнецов одной пары полностью совпадали, то соответствующие кружки располагались бы на диагонали (жирная линия). Результаты идентичных близнецов в среднем ближе к этой диагонали, чем данные неидентичных близнецов. Соответствующий количественный показатель (так называемый коэффициент наследственности  $H^2 = 0,643$ ) говорит о том, что силовые показатели до определенной степени определяются наследственными влияниями

или иной признак находится под генетическим контролем (рис. 121). Интересно, что нередко у идентичных близнецов даже процесс обучения движениям проходит очень сходным образом.

В качестве ювенильного показателя использовались результаты, показанные в 11-летнем возрасте, в качестве дефинитивного — результаты тех же пловцов в 16 лет. Видно, что чем длиннее дистанция, тем стабильнее показатели.

Изучение наследственных влияний проводят разными методами. Основным из них является изучение близнецов. Сравнивая результаты идентичных и неидентичных пар близнецов, можно определить, в какой степени тот

или иной признак находится под генетическим контролем (рис. 121). Интересно, что нередко у идентичных близнецов даже процесс обучения движениям проходит очень сходным образом.

#### 59.4. Онтогенез моторики в отдельные возрастные периоды

Развитие движений до момента рождения (в пренатальном периоде). Первые движения у плода человека регистрируются уже на восьмой неделе развития. Затем интенсивность и количество их растет. Начиная с пятого месяца у плода формируются основные безусловные рефлексы, характерные для новорожденного. Развитие движений у плода (а затем и у новорожденного) идет по направлению от головы к



нижним конечностям: сначала появляются движения в области головы, затем туловища и рук, а потом уже нижних конечностей. Двигательная активность плода снижается за месяц до рождения. В пренатальном периоде она во многом определяется состоянием матери (утомлением, эмоциональным возбуждением и др.).

Существует корреляция между двигательной активностью плода и ребенка в младенческом возрасте.

Развитие движений в младенческом возрасте (до 1 года). У новорожденного существуют движения двух основных типов:

а) беспорядочные, хаотические движения (Н. А. Бернштейн называл их синкинезиями) и

б) безусловные рефлексы, отличающиеся строгой координацией (например, сосательный рефлекс, хватательный или ладонный рефлекс, рефлекс переступания).

Примером безусловного рефлекса является также плавательный рефлекс, достигающий своего максимального проявления примерно к 40-му дню жизни: если положить ребенка этого возраста в воду, слегка поддерживая голову (мышцы шеи еще слишком слабы), он начинает выполнять плавательные движения. На этом основаны попытки обучать детей плаванию в младенческом возрасте. Известны случаи, когда дети в 10-месячном возрасте могли держаться на воде 15 мин. В дальнейшем как плавательный, так и многие другие безусловные двигательные рефлексы угасают.

У детей, воспитывающихся в обычных условиях, существует определенная последовательность овладения основными движениями (рис. 122). В отдельных случаях эта последовательность нарушается. Значительная двигательная ретардация должна быть предметом беспокойства и обращения к врачу.

Примерно до полуторалетнего возраста двигательное и психическое развитие ребенка идет параллельно. Развитие движений имеет в это время исключительное значение для психического развития. Основы знаний о пространстве, времени, причинности закладываются именно в данном возрасте благодаря двигательному опыту ребенка. Поэтому нужно создавать условия, способствующие развитию активных движений у детей (одежда, не стесняющая движений, достаточная площадь для свободного передвижения, игрушки, внимание взрослых к развитию движений и т. п.). Хотя, как уже говорилось, не всем движениям детей можно «обучить» (в том смысле, что обучение не ускоряет существенно сроков овладения этими движениями), тем не менее расширение двигательного опыта ребенка в младенческом возрасте очень полезно.

В исследованиях на близнецах показано, что те из них, которым в младенческом и преддошкольном возрасте создавали улучшенные условия для двигательного развития (например, специально обучали некоторым движениям), в дальнейшем превосходили по показателям моторики своих братьев и сестер, хотя непосредственный эффект обучения мог при этом отсутствовать: сроки овладения движениями (например, манипуляциями с игрушками) менялись незначительно.

Преддошкольный возраст (до 3 лет). Новый этап в развитии ребенка начинается, когда он научается самостоятельно ходить. Говоря



1 день	Поза новорожденного
1 месяц	Поднимает подбородок
2 месяца	Поднимает грудь
3 месяца	Пытается брать предметы
4 месяца	Сидит с поддержкой
5 месяцев	Сидит, играя предметами
6 месяцев	Сидит, играя подвешенными предметами
7 месяцев	Сидит один

8 месяцев	Стоит с помощью
9 месяцев	Стоит, держась за мебель
10 месяцев	Ползает
11 месяцев	Ходит с помощью
12 месяцев	Встает сам, держась за мебель
13 месяцев	Ползает по ступенькам
14 месяцев	Стоит самостоятельно
15 месяцев	Ходит самостоятельно

Рис. 122.

Последовательность овладения основными движениями у детей младенческого возраста (средние данные) — по Сейдж



словами И. М. Сеченова, «вооруженный умением смотреть, слушать, осязать, ходить и управлять движениями рук ребенок перестает быть, так сказать, прикрепленным к месту и вступает в эпоху более свободного и самостоятельного общения с внешним миром». В этот период ребенок должен овладеть специфически человеческими движениями и формами поведения (еда из посуды, соблюдение опрятности и т. п.), правильными действиями с различными предметами (умение пользоваться столовыми приборами и др.). На основе предметных действий возникают игры, в которых ребенок пытается воспроизвести наблюдаемые им способы обращения с различными предметами: кормит куклу, возит коляску и т. п.

В этом возрасте происходит формирование не только движений рук. Совершенствуется моторика в целом, и прежде всего ходьба. Первое время движения при ходьбе еще очень неуклюжи, что усугубляется чисто биомеханическими причинами (высокое расположение центра масс тела над осями тазобедренных суставов, слабость мышц нижних конечностей). Ходьба и бег еще не отличаются друг от друга. Примерно к 2 годам формирование акта ходьбы в общих чертах заканчивается (хотя некоторые тонкие биомеханические особенности в ходьбе детей по сравнению с ходьбой взрослых остаются вплоть до школьного возраста).

Основным способом научения в этом возрасте является подражание.

Дошкольный возраст (3—7 лет). Моторику дошкольника Н. А. Бернштейн охарактеризовал как «грациозную неуклюжесть». Дети этого возраста овладевают большим количеством разных движений, но их движения еще недостаточно ловки и координированны.

В этот период ребенок впервые овладевает так называемыми орудийными движениями, т. е. движениями, где желаемый результат достигается посредством орудия, инструмента (учится пользоваться ножницами, пишущими инструментами, молотком и т. п.).

У младших дошкольников (3—4 года) формируются навык бега, в частности появляется фаза полета, «содружественные» движения рук при ходьбе и беге (в 7-летнем возрасте такие движения наблюдаются уже у 95% детей).

Дети впервые овладевают прыжками (сначала подпрыгиваниями на месте, затем на одной ноге), метаниями и действиями с мячом. Все

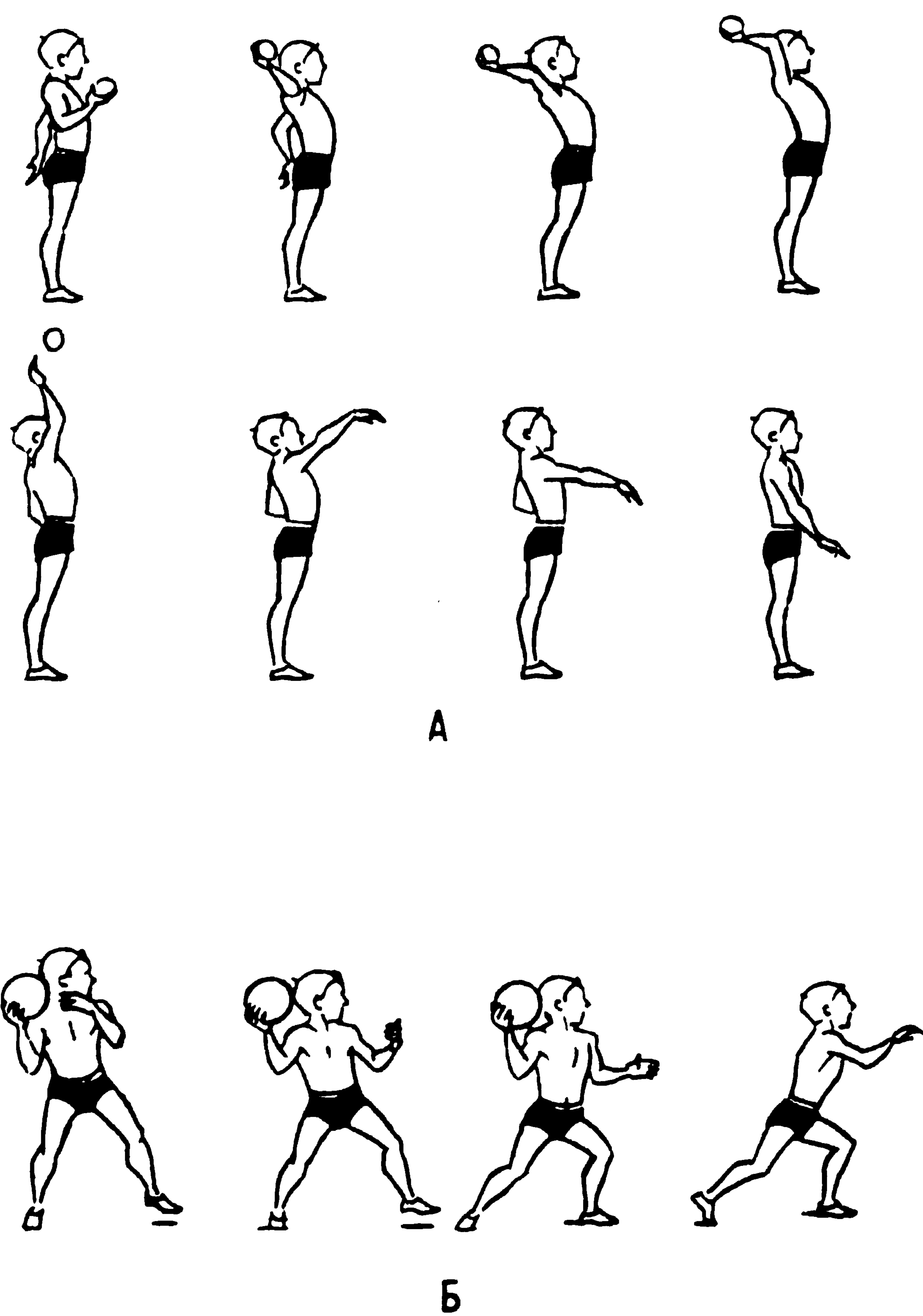


Рис. 123.

Метание мяча мальчиком в возрасте 3 (А) и 5 (Б) лет — (по Майнелю)

Обратите внимание, как активно начинают использоваться туловище и ноги в более позднем возрасте



эти навыки осваиваются постепенно (рис. 123). В возрасте после 4 лет начинают проявляться устойчивые двигательные предпочтения в использовании одной из сторон тела (право- или леворукость, см. § 62), активно используются туловище и ноги.

В этот период впервые появляется возможность проводить тестирование детей с установкой на лучший результат. Достижения детей в этом возрасте растут очень быстро. Например, в одном из исследований были получены следующие результаты (средняя величина и стандартные отклонения):

	3 года	7 лет
Прыжок в длину с места, см	$46 \pm 25$	$98 \pm 16$
Бег 10 м, с	$4,1 \pm 2,1$	$1,9 \pm 0,8$

В дошкольном возрасте появляется возможность систематически обучать детей различным движениям. Опыт подготовки спортсменов показывает, что именно в этот период целесообразно осваивать основы техники многих спортивных движений. При правильно поставленном процессе физического воспитания дети к 7-летнему возрасту умеют кататься на коньках, лыжах (по ровной поверхности и слабопересеченной местности), двухколесном велосипеде, держаться на воде, бросать и ловить мячи разных размеров, бегать, прыгать, выполнять простые гимнастические упражнения и т. д.

**Школьный возраст (7—17 лет).** В школьном возрасте, примерно к 12—13 годам, завершается анатомо-физиологическое созревание двигательного анализатора. С этого возраста подростки могут выполнять движения с той же ловкостью, координацией и точностью, что и взрослые (В. С. Фарфель). Поскольку относительная сила подростков, как уже отмечалось, может быть достаточно велика, у них, по существу, нет препятствий к овладению самой сложной спортивной техникой. Многие обстоятельства (например, легкость страховки) даже помогают этому. Поэтому в современном спорте нередки случаи, когда высот спортивного мастерства в видах спорта со сложной координацией движений достигают очень юные спортсмены (в гимнастике, фигурном катании на коньках, прыжках в воду и т. п.). Препятствием здесь является не сам возраст, а необходимая длительность обучения.

Однако двигательные качества (силовые, скоростные, выносливость) и результаты в различного рода двигательных заданиях у детей школьного возраста продолжают расти. Эти изменения происходят неравномерно и для разных двигательных качеств по-разному. Кроме того, спортивные результаты изменяются в разные годы за счет разного соотношения их составляющих. На рис. 124 показано, что в отдельные периоды частота шагов снижается, тем не менее скорость бега растет за счет увеличения длины шагов. Если принять прирост результатов в каждом возрасте за 100%, то можно подсчитать, за счет каких составляющих в том или ином возрасте растут результаты. Схема, основанная на подобных расчетах, приведена на рис. 125.

Особенно значительные изменения в моторике детей связаны с периодом полового созревания (пубертатным периодом). У девочек он обычно приходится на 11—13 лет, у мальчиков—на 13—15. В этот



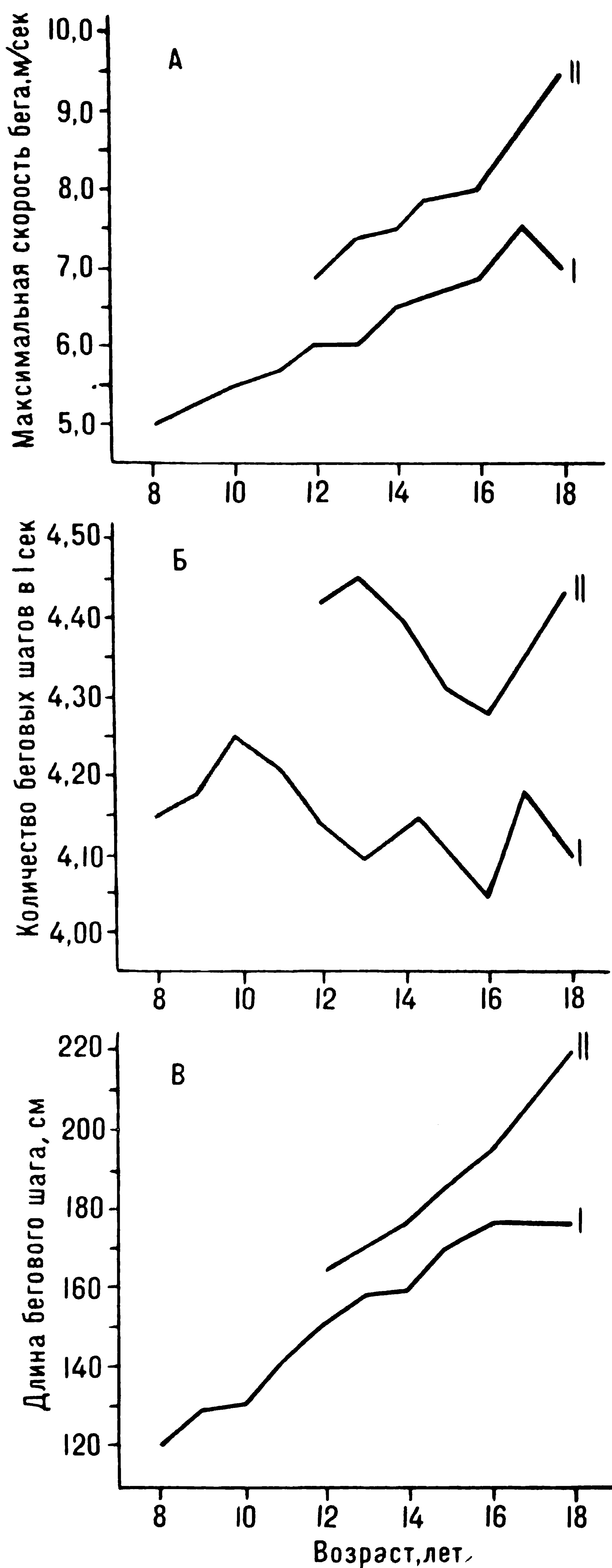
период отмечается резкий скачок роста. При этом развитие отдельных систем и органов происходит неравномерно (быстро увеличивается длина тела, затем с отставанием примерно на 3 месяца мышечная масса и с отставанием около полугода — вес). Возникающая диспропорция в развитии отдельных систем и органов требует в этот период особенно внимательного отношения к подростку.

Лишь после периода полового созревания отмечаются большие различия в моторике мальчиков и девочек.

**Возраст 18—30 лет.** Это возраст расцвета моторики человека. Именно в этом возрасте в подавляющем большинстве видов спорта демонстрируются самые высокие достижения. На рис. 126 приведен график (в статистике подобные графики называются полигонами) со сводными данными о возрасте участников олимпийских игр. И хотя он изменяется от 12 лет (рулевые в академической гребле) до 60—65 лет (выездка в конном спорте, стрельба, парусный спорт), все же в подавляющем большинстве случаев этот возраст лежит между 20 и 30 годами.

В каждом виде спорта есть возрастной диапазон, в котором достигаются самые высокие спортивные результаты. На рис. 127 приведены данные о возрасте, в котором 448 боксеров стали чемпионами олимпийских игр и чемпионами мира. Аналогичные данные есть и для других видов спорта. Видно, что хотя на графике имеется четкий пик, указывающий возраст, в котором большая часть спортсменов достигает успехов (в данном случае около 26 лет), все же эта зависимость не является очень жесткой. Из нее были исключения: победителями крупнейших соревнований становились и в 18 и в 36 лет.

В принципе, в видах спорта, требующих большой выносливости,



**Рис. 124.**

Возрастные изменения максимальной скорости бега (А), темпа бега (Б) и длины шагов (В) — по В. П. Филину

I — не занимающиеся спортом, II — занимающиеся спортом



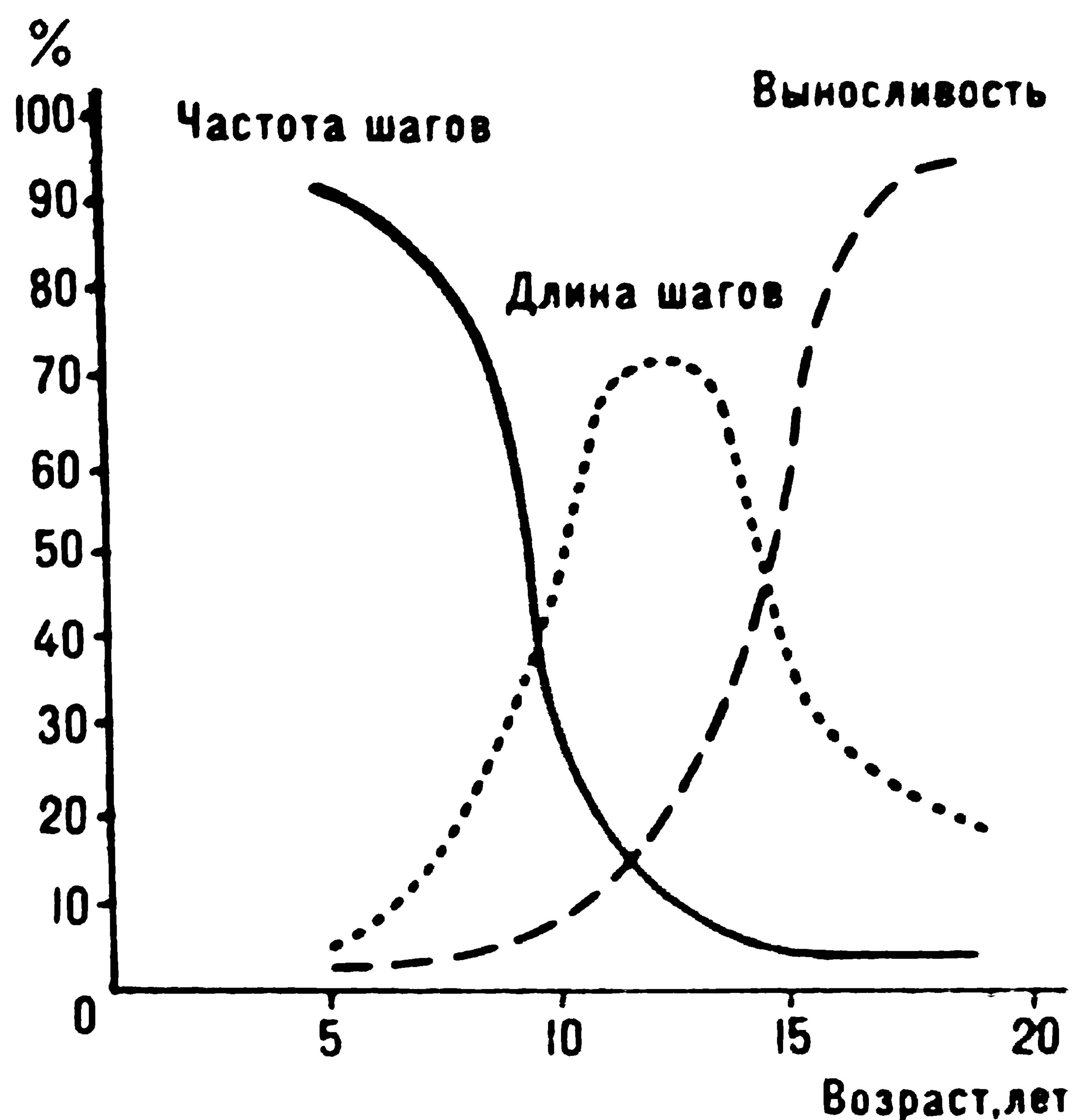


Рис. 125.

Вклад различных факторов в улучшение результатов в беге в разном возрасте — по Матсуи

ших спортсменов: в среднем чемпионы сейчас моложе, чем в прежние годы.

Возраст старше 30 лет. Примерно с этого возраста (по одним показателям раньше, по другим позже) начинают снижаться двигательные возможности. До известной степени это компенсируется тренировкой и опытом (рис. 128), особенно в видах спорта со сложной тактикой, где двигательный опыт имеет большое значение.

Наибольшее значение для сохранения двигательных возможностей и здоровья имеет тренировка в возрасте старше 40 лет, когда происходит постепенное снижение функциональных возможностей организма. Рациональные занятия физическими упражнениями могут затормозить процесс старения примерно на 10—15 лет.

### 59.5. Влияние возраста на эффект обучения и тренировки

В этом параграфе уже отмечалось, что научение возможно лишь тогда, когда достигнута определенная степень зрелости организма.

спортивных успехов достигают позже, чем в тех видах, где решающими являются скоростные качества. Например, в легкой атлетике существует четкая зависимость: средний возраст призеров олимпийских игр увеличивается с ростом дистанции. В беге на 100 м он равен 22,2 года, в беге на 1500 м — 26,1 года, а в марафонском беге — около 31 года. Исключением является плавание, где возраст чемпионов на коротких дистанциях (21—22 года) превосходит возраст сильнейших стайеров (17—18 лет). Это объясняется своеобразием данного вида спорта (положение лежа, требования к гидродинамическому сопротивлению и т. п.).

Современный спорт характеризуется омоложением сильней-

ших спортсменов: в среднем чемпионы сейчас моложе, чем в преж-

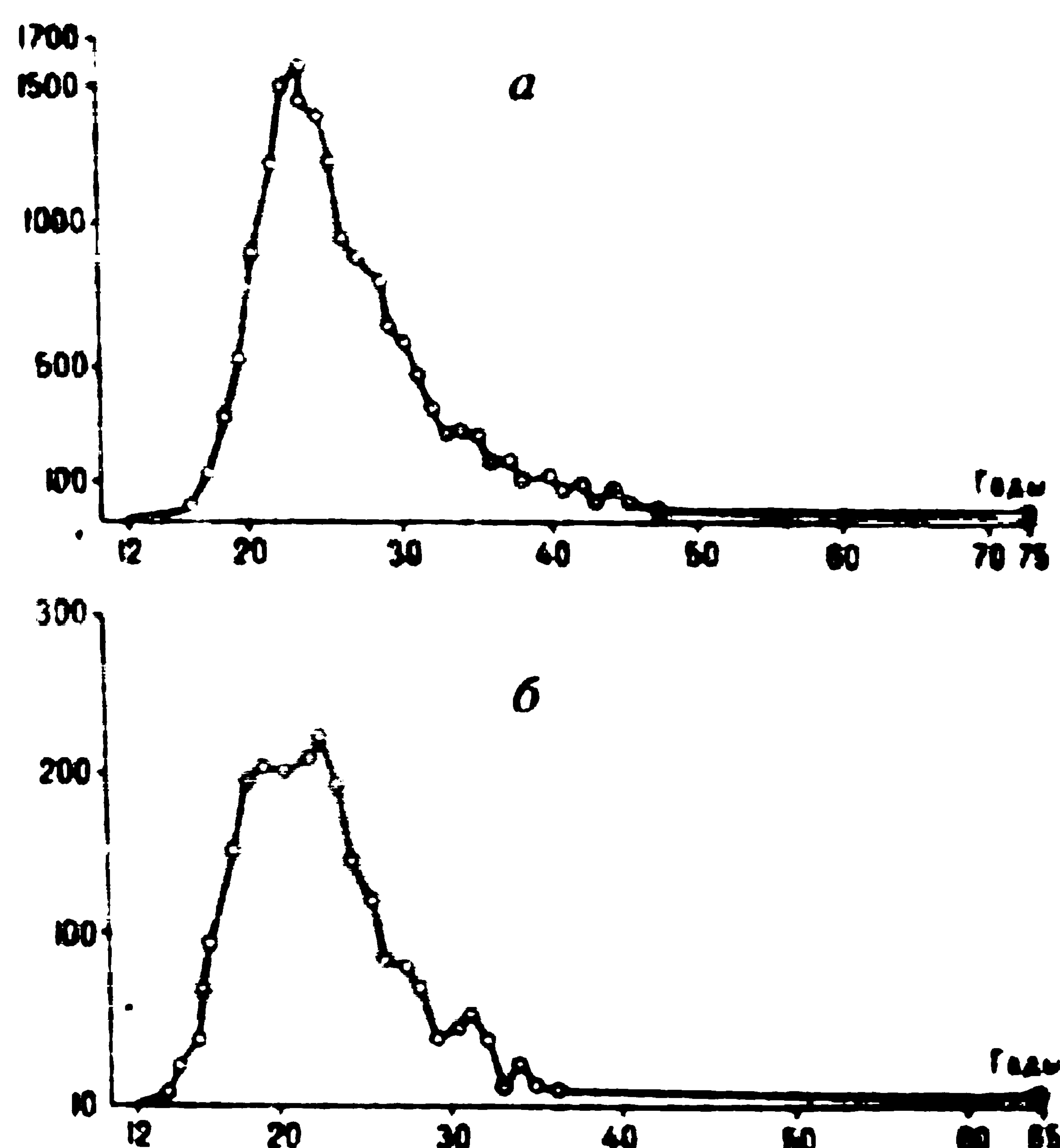


Рис. 126.

Возраст участников олимпийских игр 1924—1968 гг. (Д. Мишев):

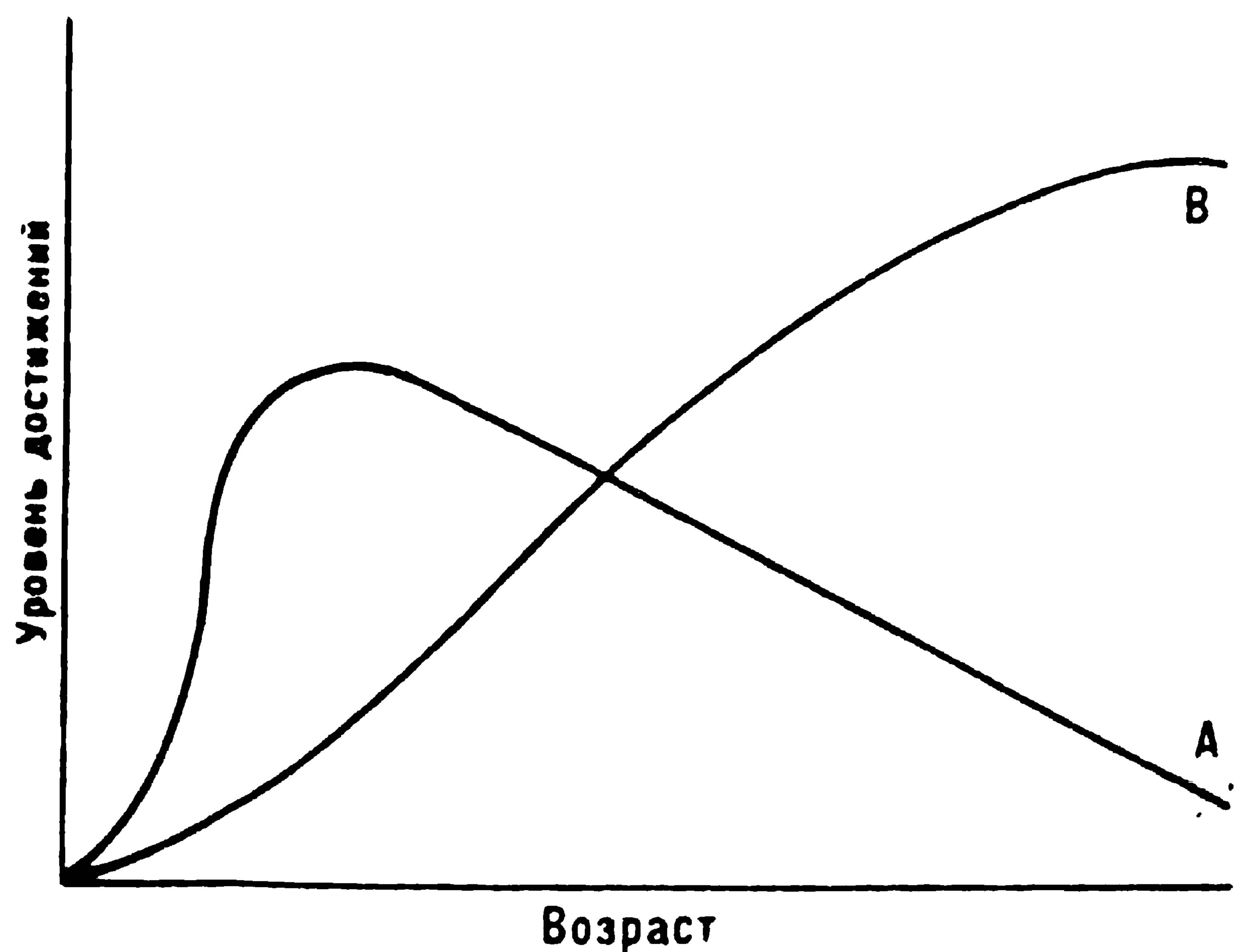
а — мужчины, б — женщины. По абсциссе — возраст. По ординате — число спортсменов



Имеются веские основания считать, что в жизни человека есть такие периоды, когда обучение определенным движениям или тренировка определенных качеств осуществляется успешнее всего. В некоторых случаях способность к научению определенным движениям или формам поведения с возрастом может быть резко снижена или даже вовсе утрачена. Периоды жизни, наиболее благоприятствующие овладению определенными движениями, двигательными качествами или формами поведения, называются **сенситивными периодами**.

Уже говорилось о том, что дети, выросшие в отрыве от человеческого общества, не умели ходить «по-человечески». Овладение навыком прямохождения затягивалось у них затем на несколько лет. Дети, глухие от рождения, которым затем удавалось вернуть слух, с большим трудом овладевали речью. А слепые от рождения, если у них восстанавливалось зрение в возрасте старше 3 лет, затем долгие годы не могли успешно справляться с задачами, требующими так называемой глазодвигательной координации (например, ловить мяч).

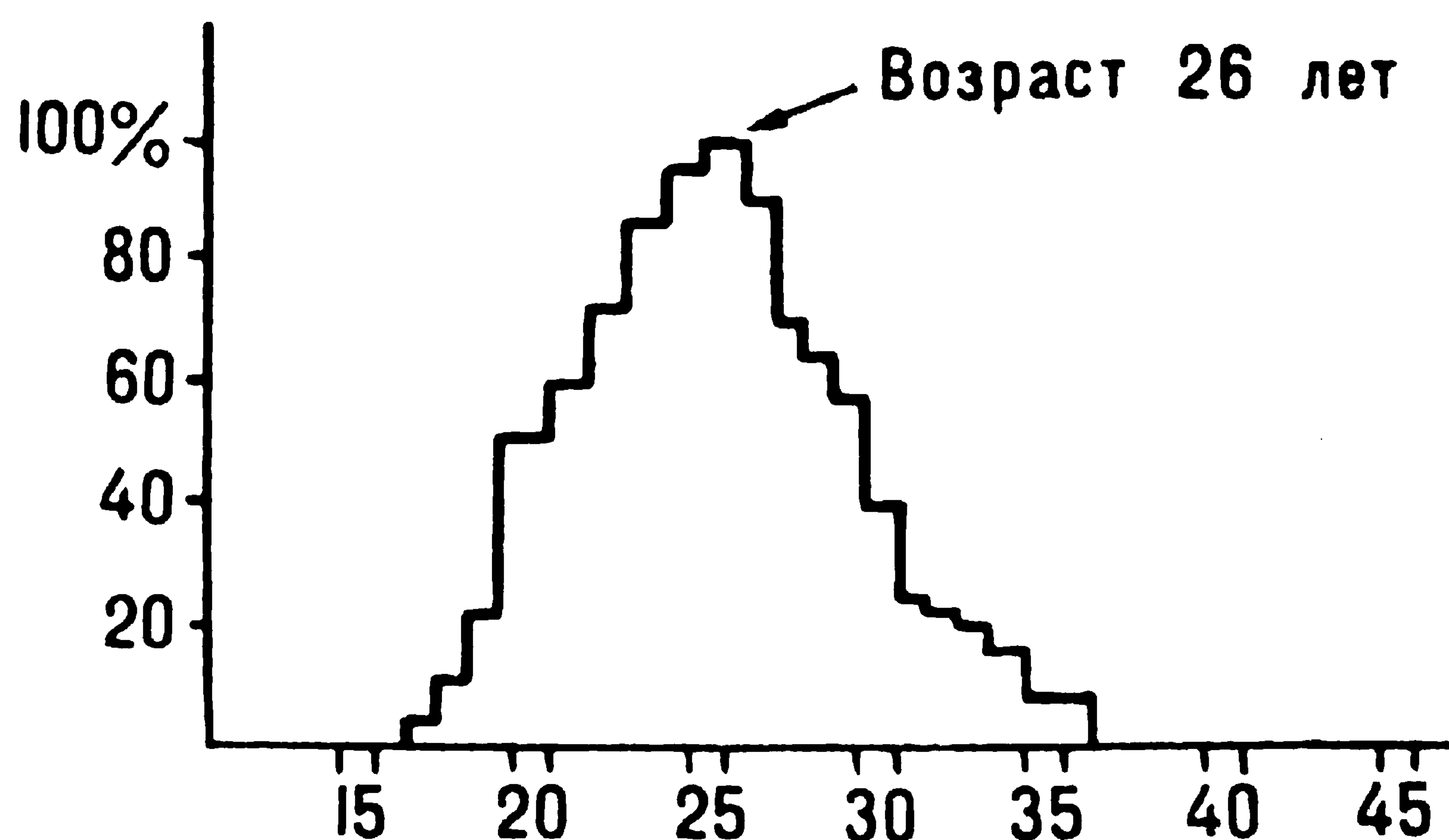
В опытах на животных было показано, что у них существует специальная форма обучения, которая получила название **импринтинга** («запечатлевание»). Особенность ее состоит в том, что соответствующая двигательная реакция появляется сразу, как бы в готовом виде,



**Рис. 128.**

Теоретическая схема, иллюстрирующая изменение возможностей двигательного аппарата (А) и приобретенного опыта (В) с возрастом (по Велфорду).

В тех случаях, когда двигательный опыт имеет большое значение (например, в видах спорта со сложной тактикой), снижение двигательных возможностей компенсируется возросшим опытом

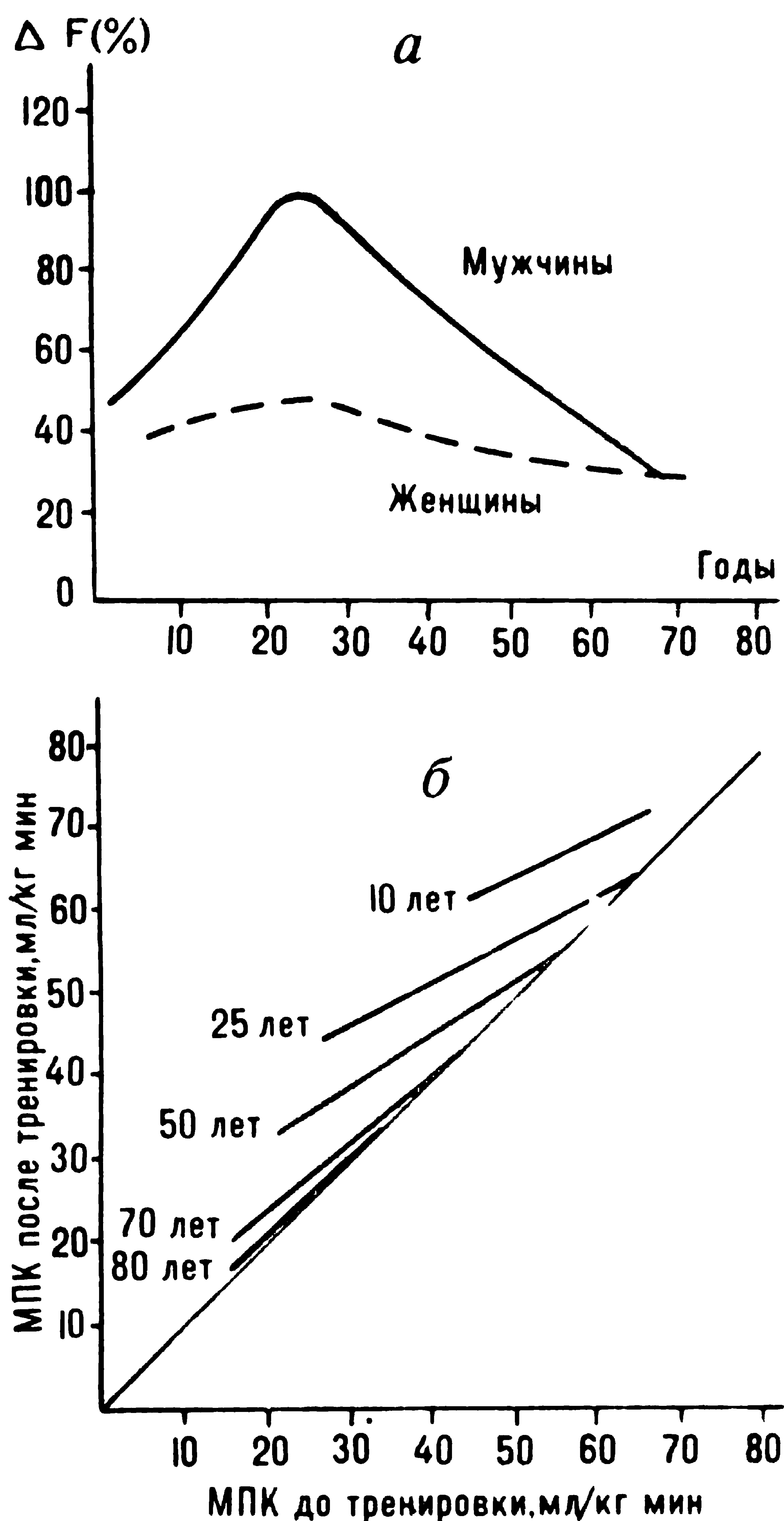


**Рис. 127.**

Полигон значений возраста, в котором боксеры становились чемпионами мира и олимпийских игр. Количество спортсменов, выигравших чемпионаты в 26 лет, принято за 100% (по Кнаппу)

если только стимул, вызывающий эту реакцию, предъявляется в строго определенный период жизни. Например, ягнята ходят повсюду за своей матерью. Оказывается, что они ходят так же неотступно за любым движущимся объектом, который впервые накрыл их своей тенью. Это может быть любое другое животное, человек или даже мотоцикл. Обучение (импринтинг) здесь происходит мгновенно, после первого же предъявления. Но происходит оно только в строго определенное время после рождения. Если это время проходит, ягненок теряет способность обучаться этой форме поведения и уже не пойдет ни за кем (в том





**Рис. 129.**

Величина прироста результатов при тренировке в разном возрасте:

*а* — прирост силовых качеств (по абсциссе — возраст, по ординате — величина прироста, за 100% принят наибольший прирост силовых качеств у мужчин. По Т. Хеттингеру);

*б* — прирост МПК (по абсциссе — МПК до тренировки, мл/кг·мин); по ординате — после тренировки; цифры на графике — возраст испытуемых; диагональная линия соответствует отсутствию прироста, т. е. равным результатом до и после тренировки). Видно, что в возрасте 70—80 лет тренировка почти не вызывает прироста МПК (по Х. Кнуттгену)

биологическими факторами: мальчики тяготеют к «мужским» играм, в большей степени способствующим развитию мышечной силы и скоростных качеств. Наоборот, девочки в дошкольном возрасте превосходят мальчиков в тех двигательных заданиях, которые типичны для их игр (например, в прыжках со скакалкой).

В период полового созревания девочки почти сравниваются с мальчиками в выполнении двигательных заданий, требующих предельных проявлений скоростно-силовых качеств и выносливости, но после этого периода различия между полами достигают максимальных величин. Наиболее существенная разница в развитии моторики у

числе и за своей матерью). Неизвестно точно, существует ли подобная разновидность научения у человека. Некоторые исследователи полагают, что существует. Например, есть данные о том, что улыбка появляется у ребенка на основе импринтинга в возрасте около шести недель от роду.

К сожалению, в настоящее время мало известно о том, в каком возрасте целесообразнее всего осваивать те или иные движения.

Что касается тренировки двигательных качеств, то и здесь есть аналоги сенситивных периодов. Сходная тренировка в разных возрастах приводит к неодинаковому росту результатов (рис. 129).

## § 60. Особенности моторики женщин

Двигательные возможности (моторика) женщин и мужчин имеют определенные различия. Они вызваны биологическими и социально-психологическими причинами.

Различия в моторике девочек и мальчиков развиваются постепенно. Уже в 3-летнем возрасте мальчики в среднем превосходят своих сверстниц в двигательных заданиях, требующих проявления силовых и скоростных качеств (прыжках, беге на скорость и др.). У них раньше устанавливается навык метания. Есть, однако, основания думать, что эти различия вызваны в большей степени социально-психологическими, а не



мужчин и женщин состоит в том, что после периода полового созревания двигательные достижения юношей продолжают расти еще несколько лет даже без специальной тренировки, а у девушек, если они не тренируются, рост результатов прекращается. Например, 20-летние юноши бегут дистанцию 100 м в среднем быстрее, чем 15-летние или 17-летние. Девушки же в 20 лет показывают худшие результаты, чем в 15 лет (разумеется, если они в этот промежуток времени не тренировались).

Во всех возрастных периодах девочки не уступают мальчикам по координационным возможностям, а по гибкости превосходят их. Как правило, девушки лучше выполняют движения выразительного характера (например, типа художественной гимнастики).

Прирост результатов в силовых упражнениях у женщин происходит медленнее, чем у мужчин (см. рис. 129, а), то же касается результатов в упражнениях на выносливость.

В сопоставляемых видах спорта результаты женщин (например, мировые рекорды) ниже, чем у мужчин, в среднем на 11—15% (рис. 130). Женщины не занимаются тяжелой атлетикой, единоборствами (кроме фехтования на рапирах), прыжками на лыжах, прыжками с шестом, спортивной ходьбой, некоторыми играми (хоккей, футбол, метание молота). Вес других снарядов для метаний у них снижен. В видах спорта циклического характера и в стрельбе из лука для женщин ограничивается длина дистанций.

## § 61. Двигательные предпочтения

**Двигательные асимметрии.** У большинства людей существуют стойкие двигательные предпочтения в выполнении движений определенной рукой, ногой, в одну из сторон и т. п. Не говоря уже о преимущественном применении одной из рук, в качестве примеров можно назвать: деление ног на маховую и толчковую, выполнение поворотов в гимнастике или приемов в борьбе в одну из сторон, правосторонний хват клюшки, дыхание при плавании кролем, «прицельный» глаз в стрельбе и т. п. Такие двигательные асимметрии существуют и в бытовых движениях. Человек выполняет многие из

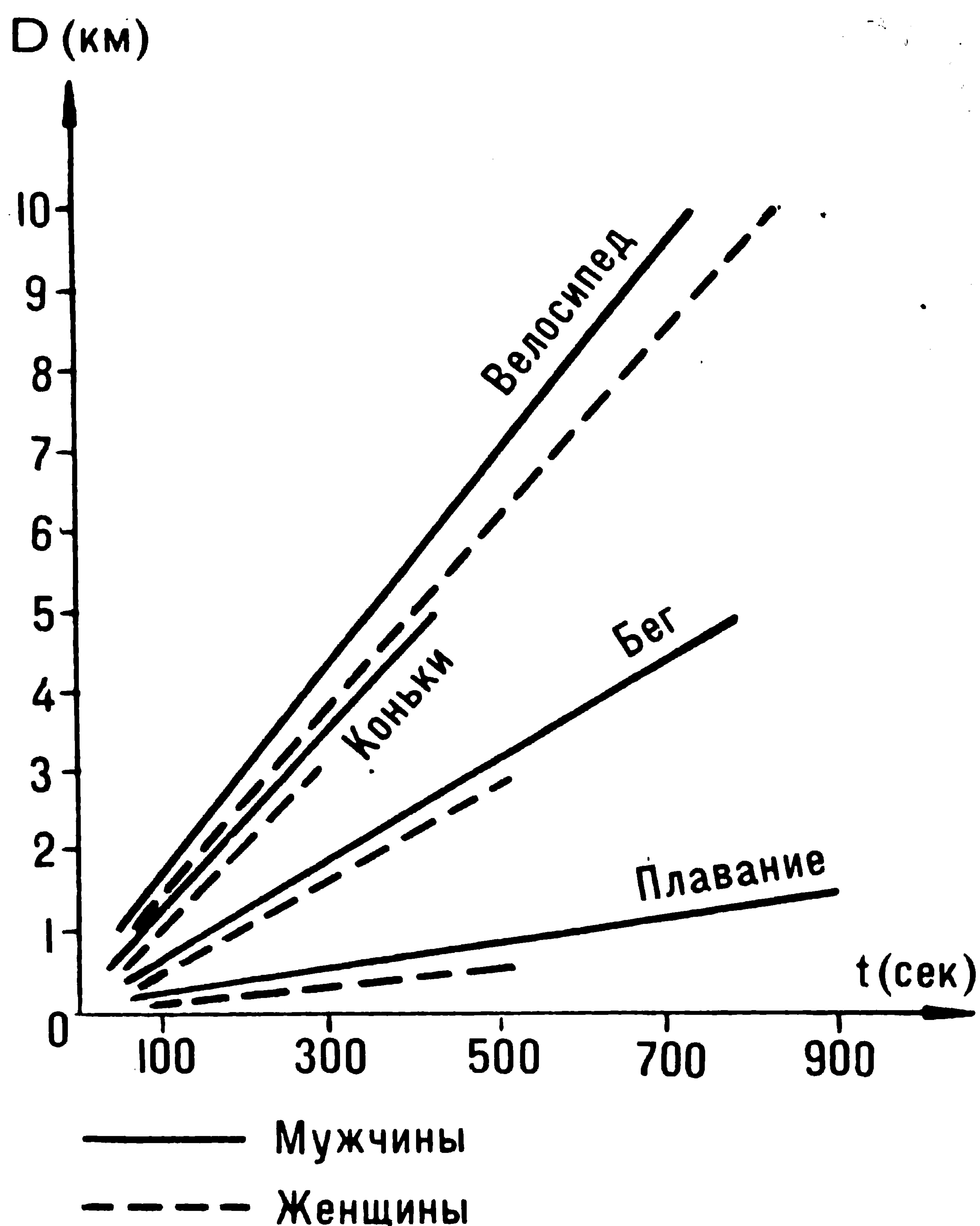


Рис. 130.

Мировые рекорды мужчин и женщин в видах спорта циклического характера на 1 января 1977 г.:

По абсциссе — время. По ординате — дистанция



них всегда одной и той же рукой, в одну и ту же сторону, хотя никогда этому специально не учился.

Двигательное предпочтение одной из сторон тела в науке обозначается термином **латеральное доминирование**. Предпочитаемая сторона или конечность называется **доминантной**. Люди, у которых латерального доминирования нет, называются **амбидекстриками** (от лат. «амб» — оба, «декстр» — правый, буквально — с двумя правыми сторонами).

Примерно 95% людей в Советском Союзе — правши. Эти данные не совсем точные, так как неточен критерий, по которому человека относят к левшам или правшам (например, человек пишет правой рукой, а метает левой. Куда его отнести — к левшам или правшам?). Примерно у 75% людей доминантным является правый глаз. У большинства ведущей (маховой) оказывается правая нога. Повороты большинство предпочитает делать в левую сторону.

У отсталых в своем развитии племен (например, у аборигенов Австралии, папуасов из лесных районов Новой Гвинеи), а также у людей каменного века (при изучении орудий их труда) исследователи обнаружили примерно равное количество правшей и левшей. Эти и другие данные позволили выдвинуть гипотезу, что примерно 25% людей рождаются праворукими, 25% — леворукими, а 50% — амбидекстриками. Затем под влиянием семейного воспитания все амбидекстрики и большая часть левшей становятся правшами.

Исторически так сложилось, что правая рука издавна признавалась ведущей (это поддерживалось религиозными культами; в средние века считалось, что правая рука — от бога, а левая — от дьявола. Инквизиция в Испании преследовала левшей). Никаких объективных оснований для такого предпочтения нет (кроме традиций, естественно). Поэтому при обучении детей с явно выраженной леворукостью умению пользоваться столовыми приборами, письму и т. п. следует разрешать делать это доминантной рукой: это ускорит процесс обучения. Люди с доминантной левой рукой не отличаются от других ни по психическим, ни по двигательным показателям. В своем большинстве левши приближаются к амбидекстрикам, что объясняется более широким использованием правой руки в раннем детстве (под влиянием побуждений взрослых и товарищей).

Латеральное доминирование устанавливается постепенно в процессе развития ребенка. Воспитание в раннем детстве может затушевывать использование «своей» стороны в движениях. Поэтому при обучении асимметричным движениям (например, прыжкам с поворотами в гимнастике, фигурном катании на коньках, прыжках в воду, акробатике) тренер должен предварительно выявить предпочитаемую сторону поворота. Для этого надо потратить несколько занятий, обучая детей первоначально поворотам в обе стороны.

В единоборствах и спортивных играх левши и в особенности амбидекстрики имеют некоторые преимущества. Преимущество левшей объясняется главным образом некоторой непривычностью ведения спортивной борьбы с ними. Это приводит к тому, что среди сильнейших боксеров и фехтовальщиков доля левшей очень высока — порой превышает 30%.



Умение выполнять все технические действия в обе стороны — признак большого мастерства в видах спорта, связанных с непосредственным противоборством противников. К сожалению, такое мастерство встречается не часто: около 95% мастеров спорта по футболу, баскетболу и волейболу выполняют основные технические действия (удары по воротам, броски в корзину, нападающий удар) лишь с одной ноги или руки. История спорта насчитывает немало примеров практического отсутствия двигательных асимметрий у сильнейших спортсменов (советский волейболист К. Рева, бразильский футболист Пеле). Опыт и специальные исследования показывают, что основы двигательной «двусторонности» надо закладывать уже на ранних этапах обучения спортивной технике, уделяя равное внимание выполнению всех технических действий в обе стороны.

Другие двигательные предпочтения проявляются в выборе «личного» темпа выполнения движений, их скорости, пространственной протяженности и др. Многие из этих характеристик оказываются очень стабильными и хорошо воспроизводятся через несколько лет жизни. Предполагается, что они связаны с личностными характеристиками человека (такими, например, как экстравертированность).

## Глава XII

### СПОРТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ МАСТЕРСТВО

#### § 62. Показатели технического мастерства

Техническая подготовленность (или, другими словами, техническое мастерство) спортсменов характеризуется тем, что умеет делать спортсмен и как он владеет освоенными действиями.

В первую группу показателей входят: а) объем; б) разносторонность; в) рациональность технических действий, которые умеет выполнять спортсмен. Во вторую: а) эффективность, б) освоенность выполнения.

##### 62.1. Объем технической подготовленности

Объем технической подготовленности определяется числом технических действий, которые умеет выполнять или выполняет спортсмен. В этом случае технику обычно оценивают по факту исполнения (выполнил — не выполнил, умеет — не умеет).

Различают общий и соревновательный объем технической подготовленности. **О б щ и й о б ъ е м** характеризуется суммарным числом технических действий, которые освоены данным спортсменом; **с о р е в н о в а т е л ь н ы й о б ъ е м** — числом различных технических действий, выполняемых в условиях соревнований. Так, например, гимнасты — мастера спорта международного класса умеют выполнять на каждом из снарядов (кроме опорного прыжка) 120—200 элементов. Таким образом, на всех шести снарядах гимнасты высокого класса могут выполнить примерно 750—1000 различных элементов. Таков типичный общий объем технической подготовленности гимнаста вы-



сокого класса. На одних соревнованиях он, конечно, не выполняет все эти элементы сразу. Соревновательный объем значительно меньше общего. В других видах спорта, например в борьбе, сходная картина. Хотя техника борьбы (в частности, вольной) насчитывает свыше 1000 приемов, большинство ведущих борцов владеет в совершенстве лишь небольшим числом атакующих действий (нередко лишь одним-двумя, табл. 12). Это, конечно, не означает, что квалифицированные борцы умеют выполнять только эти действия; в схватках со спортсменами низкой квалификации они могут продемонстрировать большой объем технических действий, однако в решающих поединках они отдают предпочтение лишь излюбленным приемам (табл. 13).

Т а б л и ц а 12

Соревновательный объем технической подготовленности членов сборной команды СССР 1964 г. по вольной борьбе (излюбленные атакующие действия в стойке — данные 48 человек)

Соревновательный объем технической подготовленности (число излюбленных приемов)	Группы приемов	Колич. спортсменов	%
Один	Бросок наклоном	23	47,90
	Броски «мельницей»	10	20,83
	Другие технические действия	2	4,16
Два и больше	Броски наклоном и другие	10	20,83
	Броски «мельницей» и другие	1	2,08

Т а б л и ц а 13

Технические действия в стойке, выполненные советскими борцами вольного стиля на XVIII Олимпийских играх (Токио, 1964 г.).

Группы приемов	Оценка выполненных технических действий в баллах				Всего приемов	%
	1	2	3	Туше		
Переводы в партер	7				7	8,9
Переводы в партер с захватом ног руками	23				23	19,6
Броски наклоном	5	17	4	2	28	35,3
Броски «мельницей»		7		2	9	11,4
Сбивания	7	1			8	10,1
Другие приемы	4				4	5,1
Итого приемов	46	25	4	4	79	

## 62.2. Разносторонность технической подготовленности

Разносторонность характеризуется степенью разнообразия двигательных действий, которыми владеет спортсмен или которые он применяет на соревнованиях. Соответственно и здесь выделяют общую



или соревновательную разносторонность. Технические действия, освоенные спортсменом, могут принадлежать к одной группе (например, в вольной борьбе — броски с захватом руками за руки и туловище противника) или к разным группам (броски с захватом руками за ноги противника, с действием ногами на ноги противника и др.). В последнем случае разносторонность технической подготовленности спортсмена выше. У более разносторонних в техническом отношении спортсменов более гармонична и физическая подготовленность, в частности топография силы.

Объем и разносторонность технической подготовленности являются важными показателями мастерства спортсменов, особенно в тех видах спорта, где имеется большой арсенал технических действий (игры, единоборства, гимнастика, фигурное катание на коньках и др.).

### 62.3. Рациональность техники

Рациональность технических действий определяется возможностью достичь на их основе высших спортивных результатов. Рациональность техники — это характеристика не спортсмена, а самого способа выполнения движения, используемой разновидности техники. Та или иная техника может быть более или менее рациональной (например, при плавании вольным стилем самым рациональным способом оказывается кроль, хотя пловцу вовсе не возбраняется любой другой способ). В истории почти каждого вида спорта были периоды смены одних способов выполнения движений другими, более рациональными. Никто из квалифицированных спортсменов не использует сейчас брасс на спине и баттерфляй — в плавании, четырехшажный попеременный ход — в лыжных гонках, поворот плугом и полуплугом — в горнолыжном спорте, способ «ножницы» — в прыжках в высоту и «согнув ноги» — в прыжках в длину, большой оборот на перекладине с сохранением прогнутого положения тела в течение всего оборота — в гимнастике (рис. 131). Эти способы либо исчезли вовсе, либо используются только при обучении начинающих.

Рациональность технических действий определяется следующим образом. В прыжках в высоту (рис. 132) результат ( $H$ ) зависит от:

$h_1$  — высоты центра тяжести (ЦТ) тела в момент отрыва от земли;

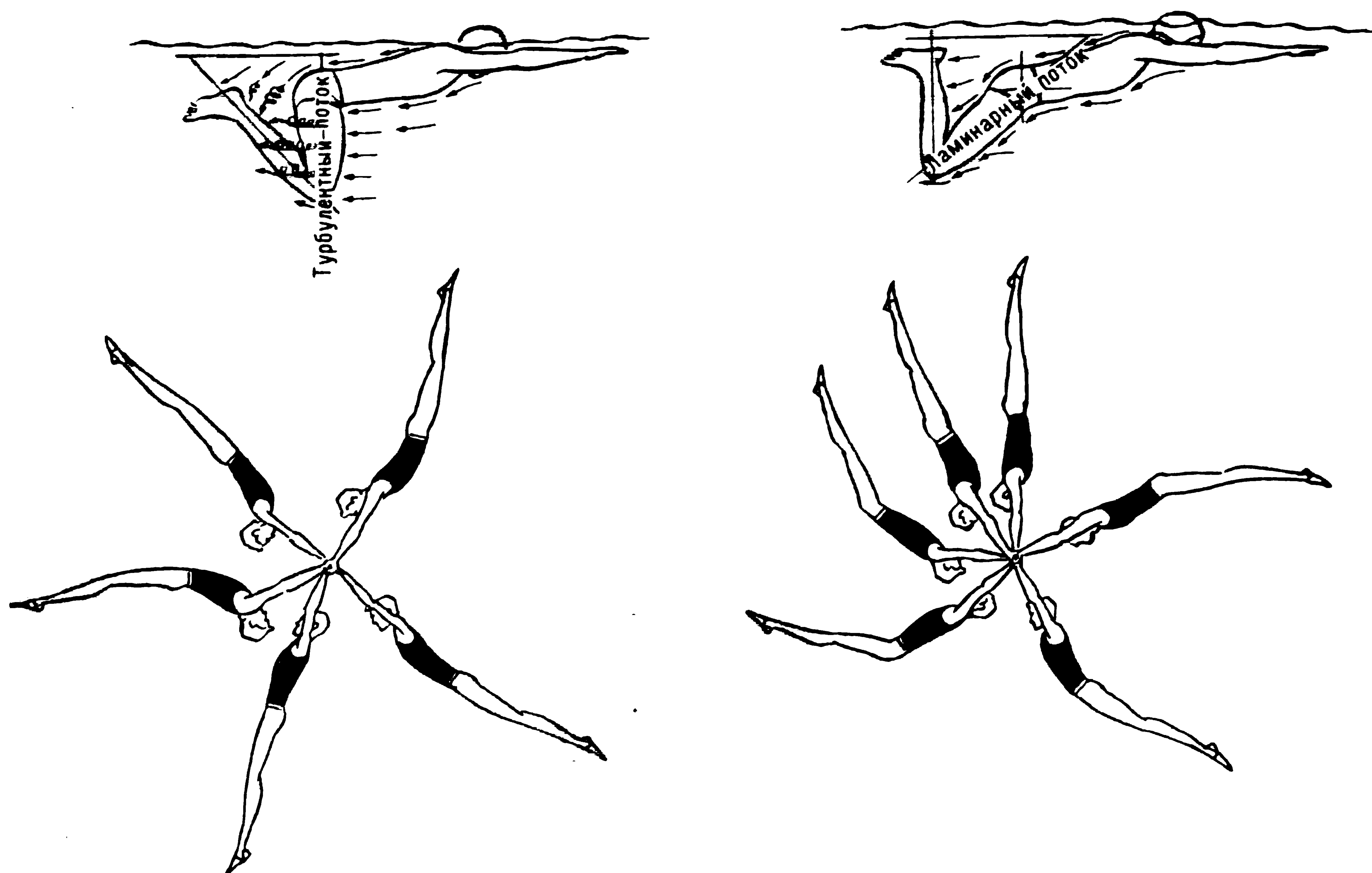
$h_2$  — высоты подъема ЦТ тела в прыжке (высоты подпрыгивания);

$h_3$  — расстояния от ЦТ тела до планки в момент перехода через нее:

$$H = h_1 + h_2 - h_3$$

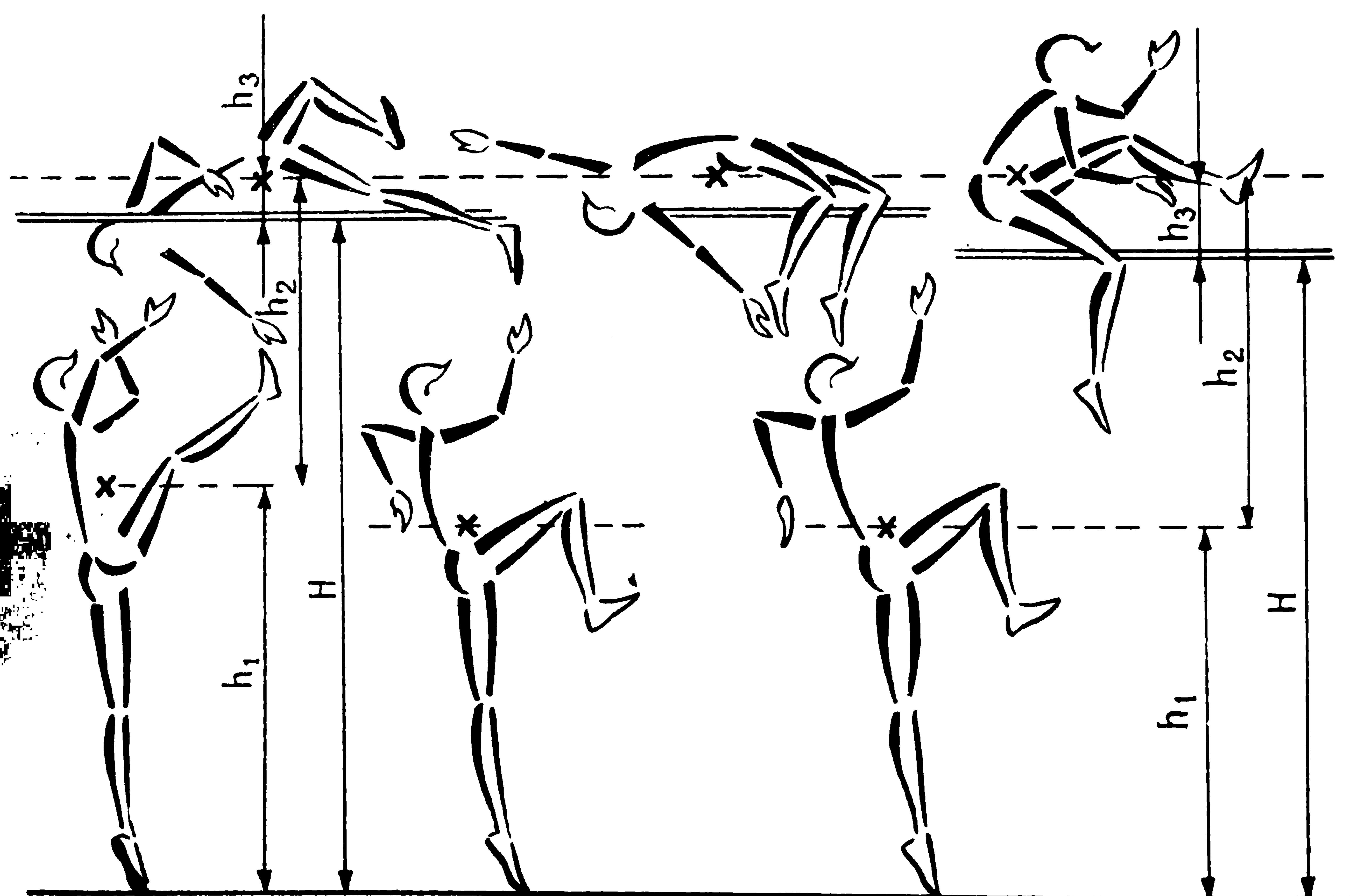
В способе «фосбюри»  $h_1$  меньше, чем в других способах прыжка (главным образом, за счет маха не прямой, а согнутой ногой), но  $h_2$  больше из-за более выгодных условий отталкивания. В результате высота подъема ЦТ тела в прыжке ( $h_1 + h_2$ ) примерно одинакова во всех способах. Однако  $h_3$  в перекидном и «фосбюри» мало и практически одинаково (6—8 см), а в прыжке «ножницами» недопустимо велико (до 25—30 см). Из-за этого, прыгая «ножницами», нельзя показать высокий результат, этот способ нерационален. Перекидной способ и «фосбюри» примерно одинаково рациональны.





**Рис. 131.**

Устаревшие (слева) и современные (справа) варианты выполнения больших оборотов на перекладине и подготовительных движений в бросе



**Рис. 132.**

Определение рациональности разных способов прыжка в высоту



В толкании ядра сильнейшие спортсмены используют сейчас два основных варианта техники:

- 1) с линейным махом ноги (без поворота),
- 2) с круговым махом ноги (с поворотом, примерно как в метании диска).

Какой из этих вариантов более рационален, пока точно неизвестно.

Рассмотренные три показателя технической подготовленности спортсмена (объем, разносторонность и рациональность технических действий) говорят лишь о том, что умеет выполнять спортсмен. Но они не отражают качества исполнения — как спортсмен выполняет движения, насколько хорошо он владеет ими. Ведь может случиться так, что из двух спортсменов с равными физическими возможностями победит тот, кто хорошо овладел нерациональной техникой (например, хорошо прыгает «ножницами» или плавает баттерфляем), а не тот, кто разучил пусть и рациональную технику, но владеет ею плохо (прыгает способом «фосбери» неумело, плавает «дельфином» неправильно).

Поэтому при оценке технической подготовленности необходимо учитывать качественную сторону владения движением — эффективность и освоенность его выполнения.

## **§ 63. Эффективность владения спортивной техникой**

Эффективностью владения спортивной техникой (или эффективностью техники) того или иного спортсмена называется степень близости ее к наиболее рациональному варианту. Эффективность техники (в отличие от рациональности) — это характеристика не того или иного варианта техники, а качества владения техникой.

В зависимости от того, как определяется рациональная техника (образец, стандарт), различают три группы показателей ее эффективности.

### **63.1. Абсолютная эффективность**

Показатели абсолютной эффективности характеризуют близость к образцу, в качестве которого выбирается наиболее рациональный вариант техники, определенный на основе биомеханических, физиологических, психологических, эстетических соображений.

В простейшем случае мерой эффективности техники может явиться показанный спортсменом результат. Таким способом часто оценивают эффективность технических приемов в единоборствах и спортивных играх (табл. 14). Например, в баскетболе эффективность техники штрафных бросков естественно оценивать по проценту попаданий.

Однако, к сожалению, в большинстве случаев спортивный результат не является убедительным показателем эффективности техники, так как помимо техники он зависит еще от других факторов, в частности от развития двигательных качеств. Например, один фехтовальщик может превосходить другого в атаке прыжком (флеш-атаке) не из-за преимуществ в технике, а из-за большей прыгучести и хорошо развитых скоростных качеств.

Поэтому описанный метод оценки эффективности техники пригоден в основном в тех случаях, когда технические действия не требуют



Число приемов (ЧП) и коэффициент эффективности (КЭ) их выполнения в играх сборной команды СССР по футболу в 1976 г. (по М. А. Годику)

Дата	Соперник, счет игры	Показа- тель	Передачи			Ведение	Отбор	Пере- хват	Обвод- ка	Игра голо- вой	Удар в ворота	Общее число прие- мов и эффе- ктив- ность
			короткие и средние		длин- ная							
			назад, попе- рек	вперед								
11.02.76	«Партизан», Югославия 2:1	ЧП	252	251	98	64	71	69	32	15	20	872
		КЭ	1,00	0,87	0,73	0,98	0,48	0,57	0,81	0,03	0,25	0,80
24.04.76	Сборная ЧССР 0:2	ЧП	132	61	33	75	103	75	68	25	9	581
		КЭ	0,89	0,68	0,38	1,00	0,14	0,60	0,58	0,56	0,44	0,61

предельного проявления двигательных качеств (например, технику подачи и второй передачи в волейболе так оценивать можно, а технику выполнения нападающего удара, видимо, нельзя: результативность его зависит от многих факторов, в частности от прыгучести).

В большинстве случаев оправдан другой способ — сопоставление характеристик выполненного движения с некоторым идеалом. Напри-

мер, в прыжках в высоту одним из показателей эффективности техники является расстояние от ЦТ тела до планки в момент перехода через нее, в плавании и гребле — степень отклонений от равномерной скорости передвижения, при скоростном спуске в горнолыжном спорте — умение гасить громадные ускорения, возникающие на опоре (до 100 g), не передавая их туловищу и голове. У квалифицированных спортсменов ускорение головы не превышает 4—5g; отношение ускорений в этих случаях равно 0,04 (4g:100g = 0,04) (рис. 133).

В основе рациональной техники могут лежать разные критерии:

а) биомеханические (примеры приведены выше);

б) физиологические; при нерациональной технике у специализирующихся в спортивной ходьбе нередко возникают резкие болезненные ощущения в передней большеберцовой мышце из-за ухудшения кровообращения вследствие того, что время ее расслабления в одном шаге оказывается недостаточным:

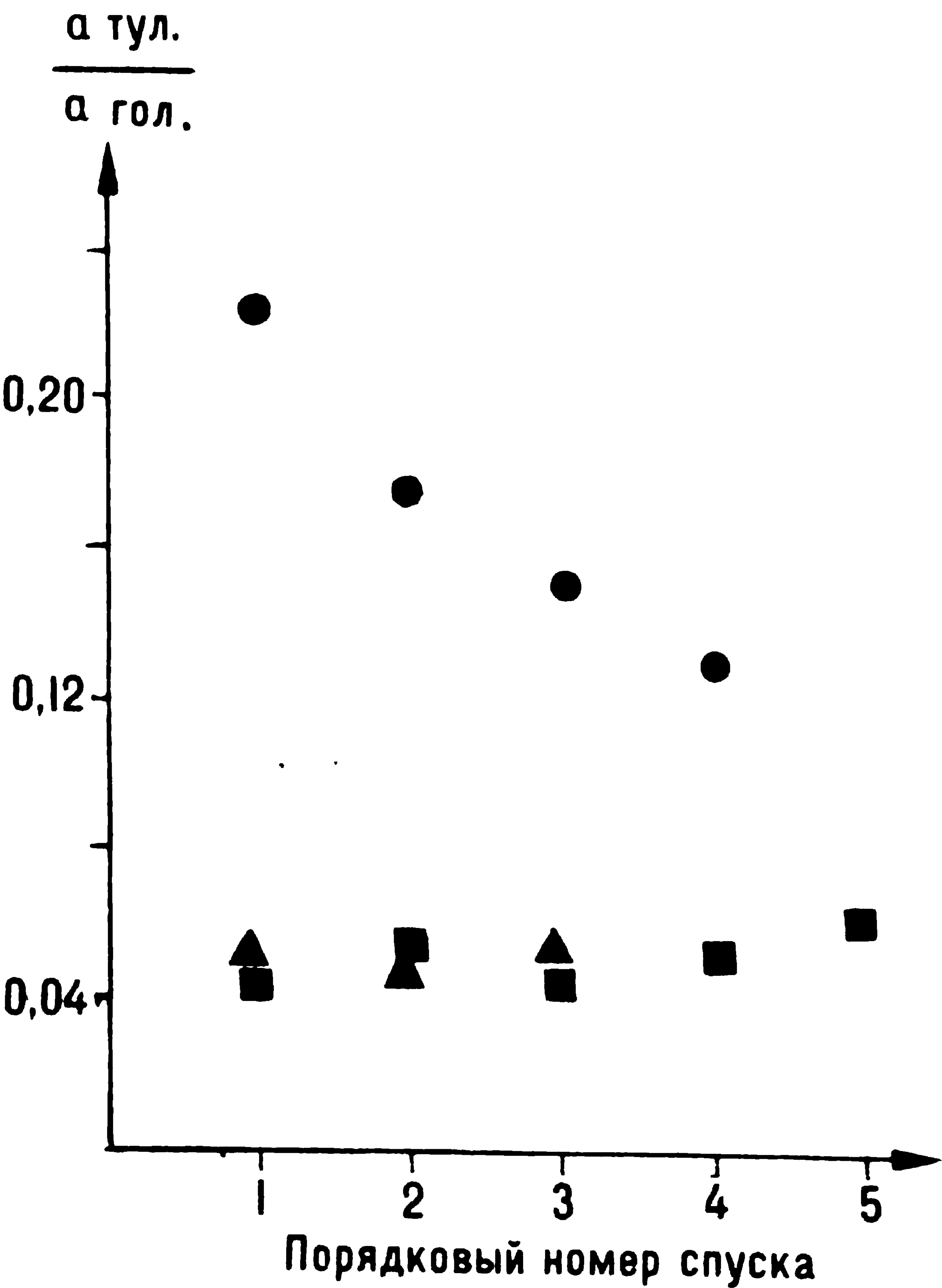


Рис. 133. Отношение ускорения туловища к ускорению голени (в направлении, перпендикулярном к склону) при прямом спуске на горных лыжах у начинающего (черные кружки) и квалифицированных спортсменов (черные квадраты и треугольники) — по Б. Ниггу, 1973 г. По абсциссе — порядковый номер попытки. По ординате — отношение ускорений



в) психологические; техника в спортивных играх и единоборствах в решающей мере определяется стремлением выполнить движение так, чтобы оно было возможно более неудобным для противника (хотя оно может быть неудобно самому спортсмену или приводить к снижению силы и скорости движения). Например, желательно, чтобы технические действия были неожиданными для противника, поэтому их целесообразно проводить внезапно (без подготовки) или после обманных движений («финтов»). С точки зрения механики движений такие действия нерациональны (сила, скорость, а иногда и точность движения при этом снижаются), однако именно они позволяют переиграть противника. Поэтому подобные способы выполнения технических действий являются в играх и единоборствах наиболее рациональными;

г) эстетические; критерии этой группы являются определяющими в тех видах спорта, где красота движений — основа мастерства (гимнастика, фигурное катание на коньках и др.).

### 63.2. Сравнительная эффективность

В этом случае за образец берется техника спортсменов высокой квалификации. Те признаки техники, которые закономерно отличаются у спортсменов разной квалификации (т. е. изменяются с ростом спортивного мастерства), называются дискриминативными<sup>1</sup> признаками. Такие признаки эффективности техники используют в качестве основных показателей лишь тогда, когда техника движений очень сложна и на основе биомеханического анализа не удастся определить ее наиболее рациональный вариант. В других случаях дискриминативные признаки дополняют показатели абсолютной эффективности, очень часто совпадая с ними.

При оценке эффективности техники с помощью дискриминативных признаков надо помнить, что техника даже выдающихся спортсменов может быть не вполне рациональной. Например, в начале 50-х годов некоторые чемпионы по лыжным гонкам имели значительные ошибки в технике (слишком низкая посадка, незавершенный толчок рукой и ногой и др.). Эти ошибки копировали молодые лыжники.

В современном спорте вероятность значительных ошибок в технике у лучших спортсменов мира с каждым годом уменьшается. Поэтому в большинстве случаев показателями сравнительной эффективности можно пользоваться, особенно если все сильнейшие спортсмены применяют один и тот же вариант техники.

Для определения дискриминативных признаков используют один из двух исследовательских подходов:

а) сравнивают показатели техники спортсменов высокой и низкой квалификации (табл. 15) либо

б) рассчитывают коэффициенты корреляции и уравнения регрессии между спортивным результатом, с одной стороны, и показателем техники — с другой (рис. 134).

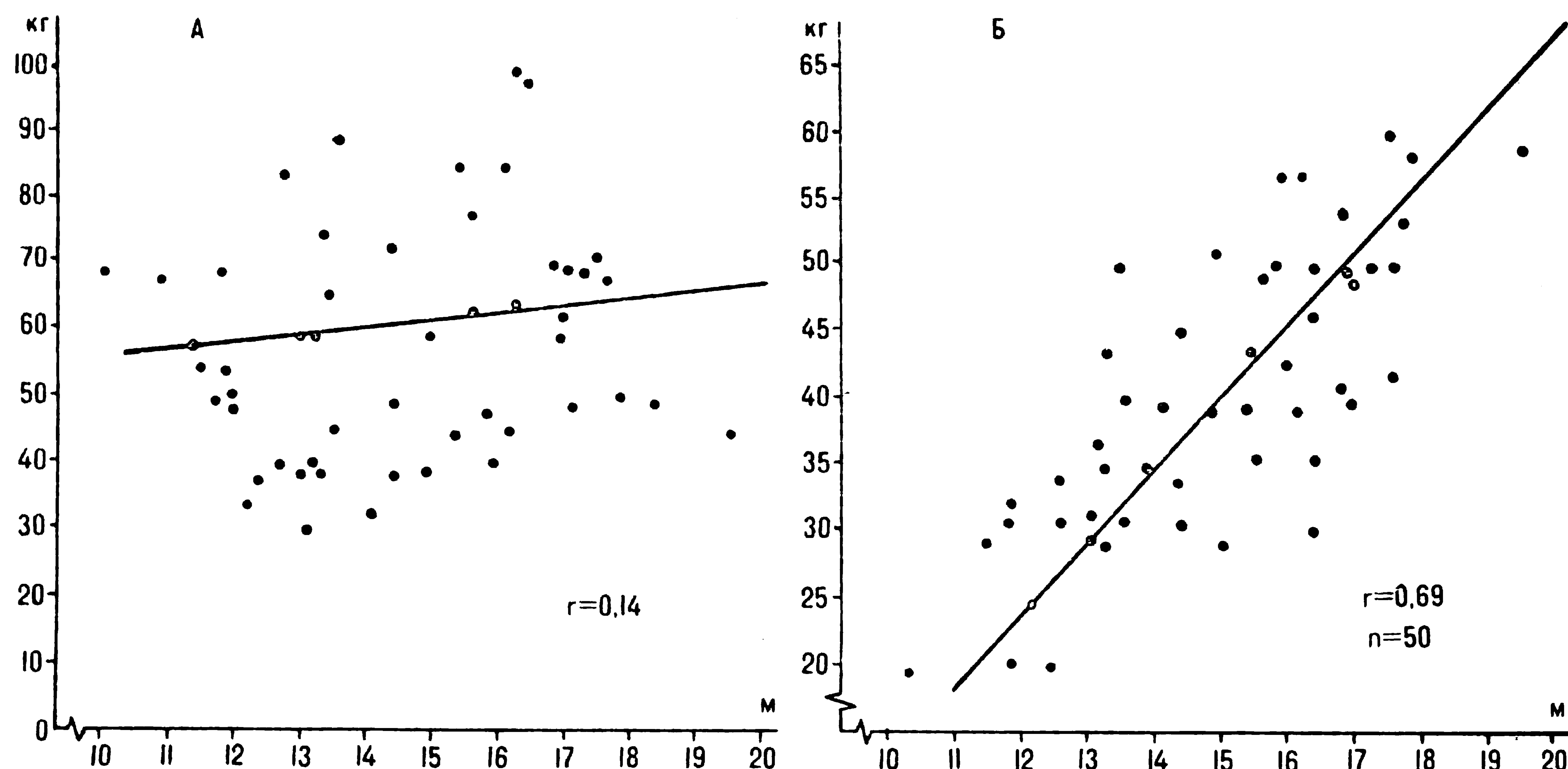
Не всегда дискриминативные признаки легко видны. Например, у толкателей ядра обычно в финальном усилии обе ноги отрываются

---

<sup>1</sup> От англ. discrimination — различение, распознавание, выделение.



от опоры раньше, чем рука выпускает ядро. В большинстве случаев период от отрыва ног до выпуска ядра — период безопорного выталкивания — настолько короток (10—20 мс), что даже опытный тренер его не замечает. Период безопорного выталкивания уменьшается с ростом спортивной квалификации. Это дискриминативный признак, показывающий довольно высокую корреляцию с результатом в толкании ядра ( $r=0,55$ ).



**Рис. 134.**

Определение дискриминативных признаков спортивной техники в толкании ядра (Ан. А. Шалманов, Я. Е. Ланка):

По абсциссе — результат в толкании ядра (50 испытуемых). По ординате — максимальное значение горизонтальной составляющей опорной динамограммы правой ноги (А — в фазе стартового разгона, перед скачком, Б — в фазе финального разгона, после скачка).

Видно, что Б можно использовать как дискриминативный признак, а А нет

### 63.3. Реализационная эффективность (эффективность реализации)

Идея этих показателей состоит в сопоставлении показанного спортсменом результата либо с тем достижением, которое он по уровню развития своих двигательных качеств потенциально может показать (вариант «А»), либо с затратами энергии и сил при выполнении оцениваемого спортивного движения (вариант «Б»).

**В а р и а н т «А».** В данном случае эффективность техники оценивается по тому, насколько хорошо спортсмен использовал в движении свои двигательные возможности. При таком подходе опираются на существование связей между тремя показателями: спортивным результатом, уровнем развития двигательных качеств, эффективностью техники.

Практически это осуществляется путем сравнения результатов спортсмена:

а) в технически сложном действии (как правило, это то движение, в котором специализируется спортсмен);



б) в технически более простых заданиях, требующих развития тех же двигательных качеств, что и основные.

Так, у прыгунов на батуте регистрировали время полета при простых прыжках («качах») и при выполнении сальто (табл. 15).

Т а б л и ц а 15

Среднее время полета при выполнении простых прыжков и сальто у прыгунов на батуте разной квалификации (сек.)

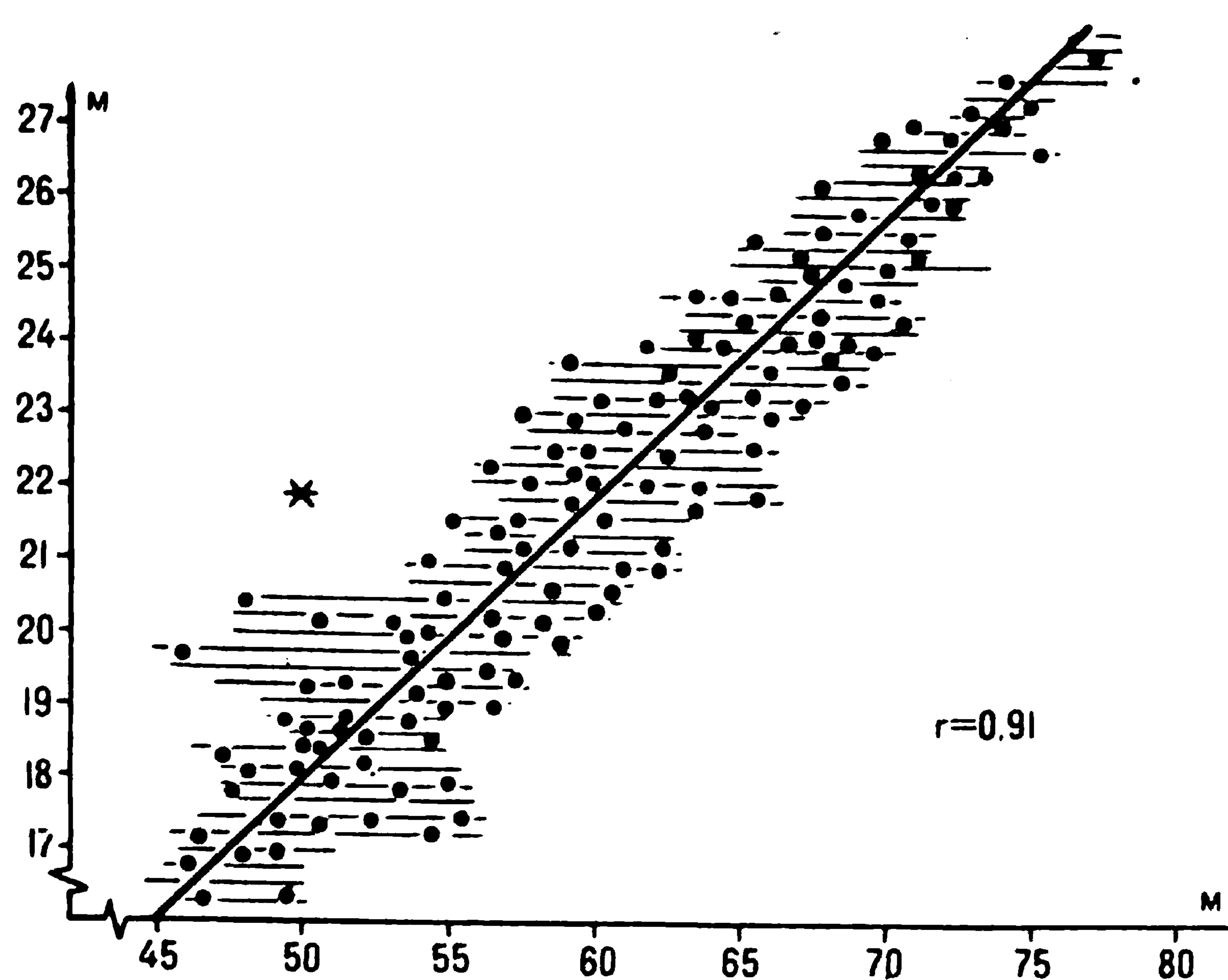
Квалификация спортсмена	Простой прыжок	Сальто	Коэффициент эффективности техники, %
III	1,2	0,9	75,0
II	1,3	1,1	84,6
I	1,4	1,2	85,7
Члены сборной СССР	1,5	1,5	100,0

В простом прыжке высота полета зависит главным образом от скоростно-силовых возможностей спортсмена. При выполнении сальто спортсмен должен эти возможности использовать максимально (в идеале на 100%). Данные табл. 15 показывают, что это удается только спортсменам высокого класса, у которых выше как сам двигательный потенциал, так и степень использования его. Показателем потенциальных возможностей спортсмена является в данном случае время полета в простом прыжке (оно тем больше, чем выше прыжок), а степень использования двигательного потенциала характеризуется коэффициентом эффективности техники.

В приведенном примере видна основная идея реализационных критериев: эффективность техники можно оценить, сравнивая действительный результат спортсмена с тем достижением, на которое он может рассчитывать исходя из своей физической подготовленности (так называемого «должного результата»). Разность «должный результат минус действительный» или, реже, отношение «действительный результат: должный результат» используется как показатель реализационной эффективности техники.

Должный результат определяется обычно с помощью уравнений регрессии. Показателем эффективности техники в этом случае является так называемый регрессионный остаток, т. е. разность между действительным и должным результатами. Например, у копьеметателей разной квалификации определили их достижения в метании копья и в распространенном тренировочном упражнении — метании ядра весом 3 кг с места, оно выполнялось из исходного положения — ядро в руке вверх, разноименная нога сзади; с шагом и постановкой ноги — замах и бросок. Метание ядра с места технически намного проще метания копья и поэтому используется для оценки скоростно-силовой подготовленности (двигательного потенциала) метателей. На рис. 135 показаны поле корреляции и линия регрессии результатов в этих двух упражнениях. Крестиком отмечены результаты одного из испытуемых — борца, хорошо физически подготовленного, но не владеющего техникой метания. Видно, что из-за низкой эффективности техники он не добирает до своего должного результата в метании копья около 10 м.



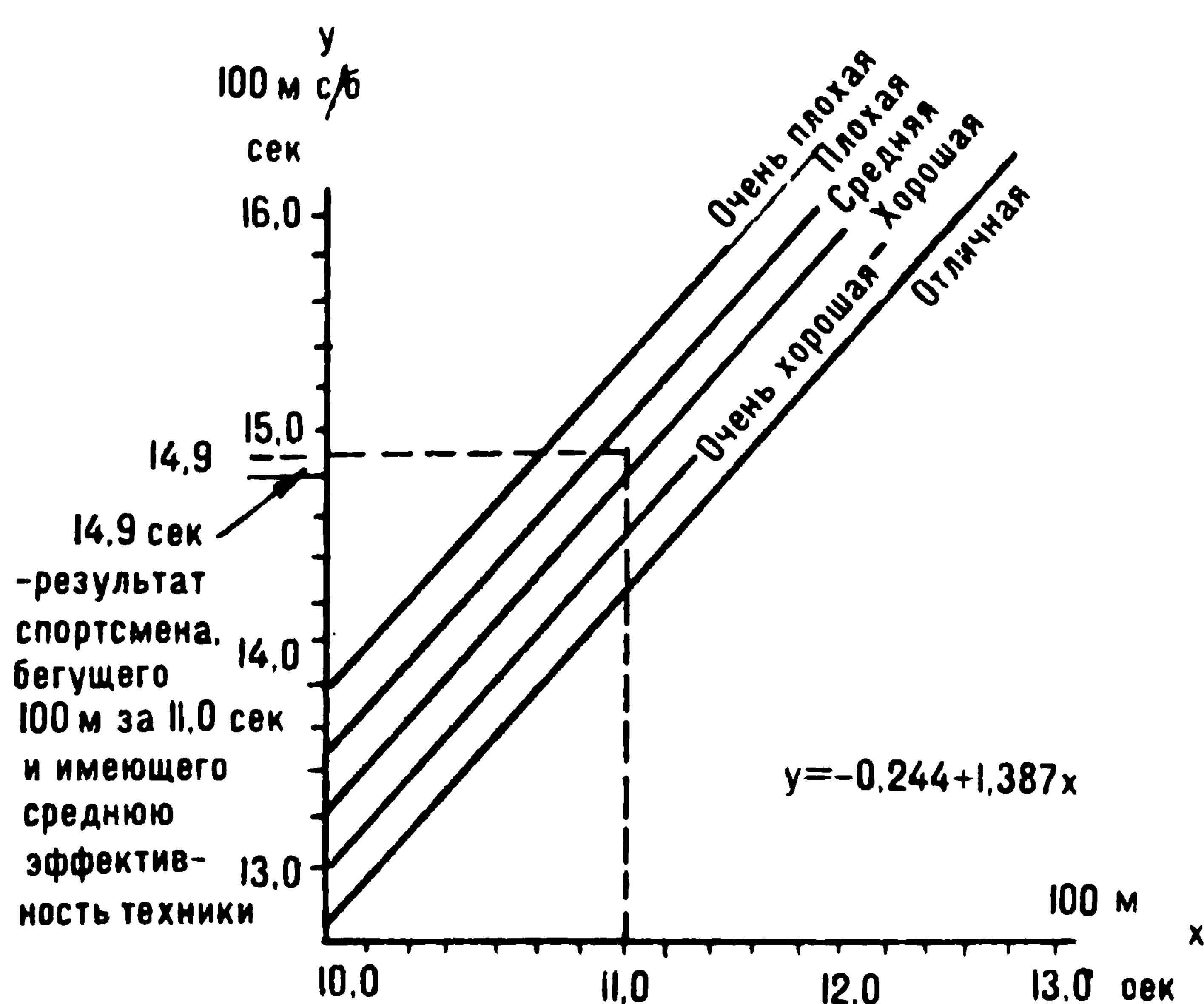


**Рис. 135.**

Оценка технической подготовленности метателей копья на основе сопоставления их достижений в метании копья и ядра 3 кг (Е. Н. Матвеев)

По абсциссе — результат в метании копья, По ординате — в метании ядра 3 кг

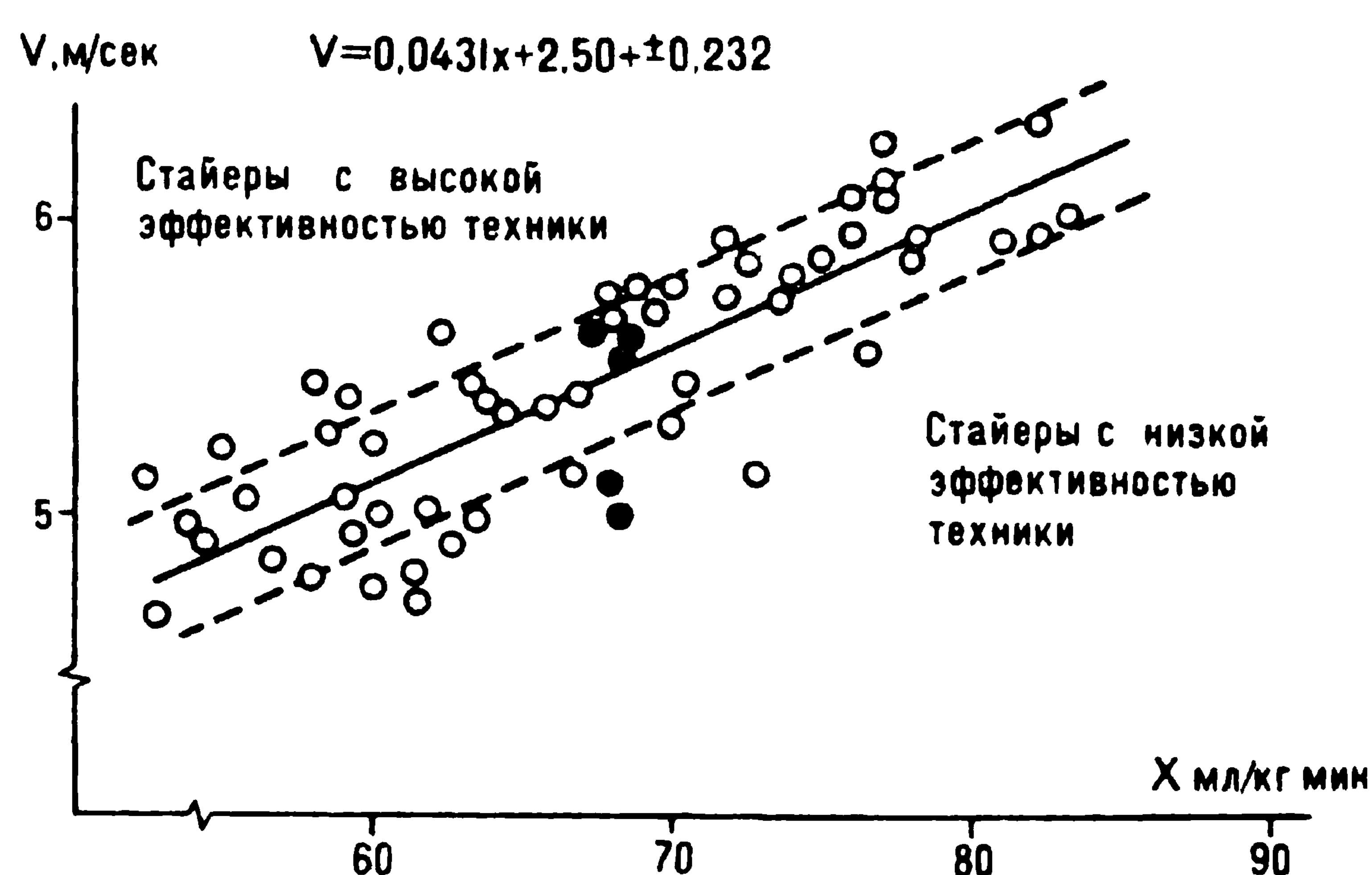
очень плохая эффективность техники; при высоких результатах в беге с барьерами (допустим, 13,9 с) эффективность техники надо расценивать как отличную.



**Рис. 136.**

Номограмма для оценки технической подготовленности барьеристов на основе сопоставления их достижений в беге на 100 м (абсцисса) и на 110 м с барьерами (ордината) — по В. П. Хвостикову

Другой пример. Результаты в беге на 110 м с/б зависят от скорости бега и техники преодоления барьеров. Скоростные возможности можно определить по времени бега на 100 м. Уравнение регрессии между временем бега на 100 м и 110 м с/б покажет, какое время в беге на 110 м с/б демонстрируют в среднем спортсмены, имеющие определенный результат в спринтерском беге. Например барьеристы, имеющие в беге на 100 м время 11,0 с, в среднем имеют достижение в беге на 110 м с/б 14,9 с. Если при результате 11,0 с в спринте спортсмен будет иметь время в беге на 110 м с/б намного хуже (скажем, 16,0), это будет говорить о том, что у него



**Рис. 137.**

Оценка эффективности техники бега стайеров по спортивному результату и величинам МПК (по Миуре и др., 1973 г.): по абсциссе — МПК (мл/кг·мин), по ординате — средняя скорость бега в забеге на 5000 м (м/с)

На основе уравнений регрессии составляют специальные таблицы, или номограммы (рис. 136), с помощью которых тренер может легко оценить, насколько эффективна техника его учеников, т. е. насколько полно они реализуют в движении свои двигательные возможности. В качестве показателей двигательного потенциала используют не только результаты двигательных тестов, но и другие характеристики функциональных возможностей организма, в частности физиологические показатели, особенно часто такой информативный признак, как

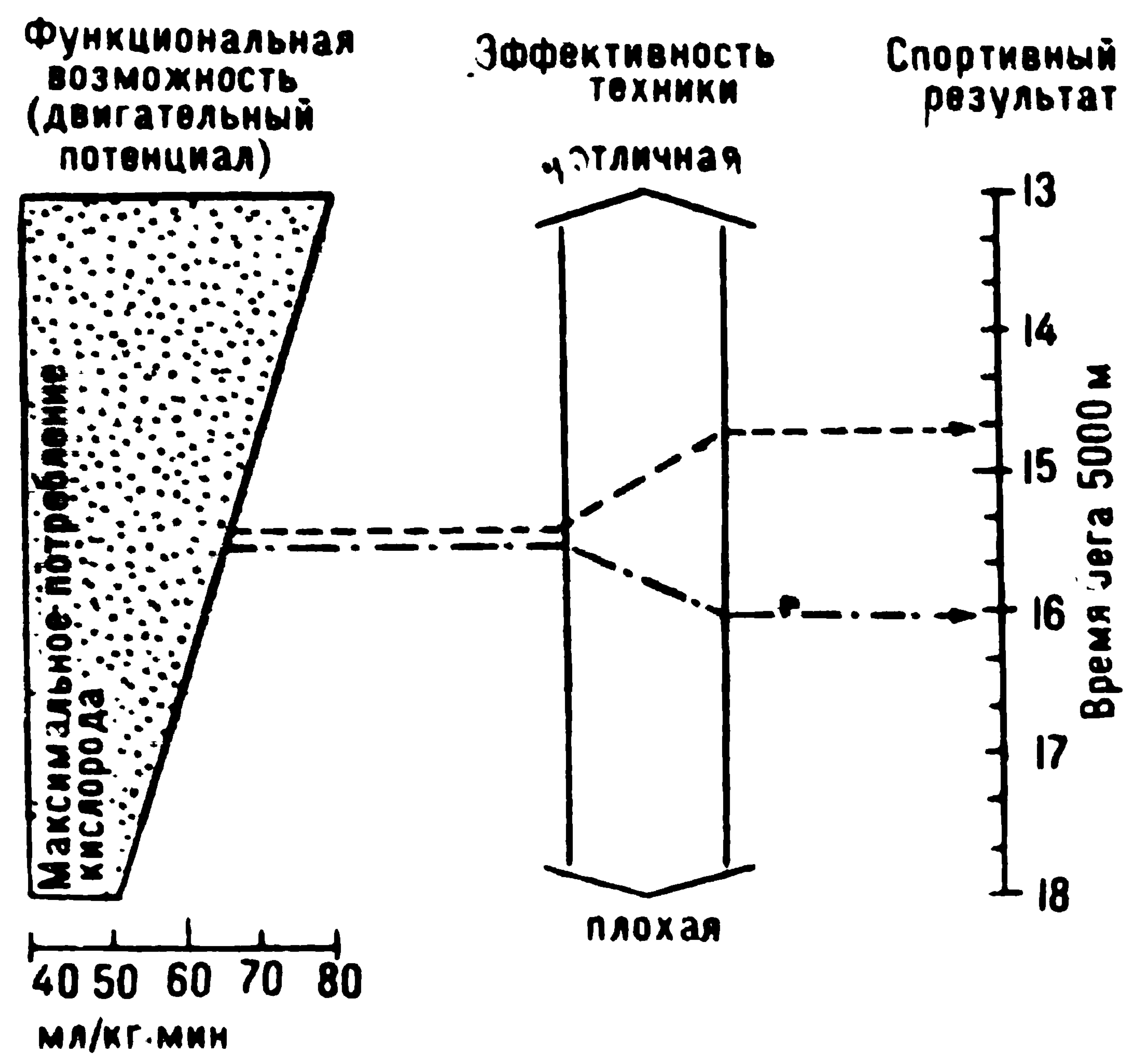


МПК. В этом случае регрессионный остаток говорит о том, насколько эффективно спортсмен использует свои функциональные возможности (рис. 137).

Соотношения при таком подходе между двигательным потенциалом спортсмена, эффективностью его техники и спортивным результатом показаны в виде схемы на рис. 138.

При оценке технического мастерства по уравнению регрессии необходимо иметь в виду, что все суждения об эффективности техники в таком случае имеют относительный характер: вывод о том, что у данного спортсмена техника эффективна или, наоборот, неэффективна, делается на основе сопоставления со средним уровнем владения техникой, типичным для данной совокупности спортсменов («хорошо» означает «лучше среднего», а «плохо» — «хуже среднего»).

В а р и а н т «Б». В этом случае эффективность техники оценивают определяя энерготраты или проявляемую в движении силу при выполнении одного и того же задания, иными словами — определяя функциональную экономизацию. Например, величина потребления кислорода у конькобежцев разной квалификации во время бега с одной и той же скоростью будет различной (табл. 16). Похожая картина будет наблюдаться, если регистрировать, например, силу отталкивания в беге с заданной скоростью: спортсмены низкой квалификации часть усилий тратят непроизводительно (скажем, на излишний подъем ЦТ тела вверх), и поэтому при той же скорости бега импульс сил опорных реакций у них больше.



**Рис. 138.** Соотношение между двигательным потенциалом спортсмена, эффективностью его техники и спортивным результатом (схема) — по Миуре и др. Пунктирные линии соответствуют двум спортсменам с равными функциональными возможностями, но разной эффективностью техники

Т а б л и ц а 16

Потребление кислорода (мл/кг·мин) у конькобежцев разной квалификации во время бега на коньках со скоростью 8,5 м/с (по В. В. Михайлову и Г. М. Панову)

Мастера спорта n = 19	I разряд n = 15	II разряд n = 20	III разряд n = 16	Новички n = 7
44,15	46,23	49,23	50,03	52,05

Экономичность спортсмена (т. е. умение выполнить работу с возможно меньшим расходом энергии) зависит как от его технического мастерства, так и от таких функциональных показателей, как МПК и порог анаэробного обмена (ПАНО). Из биохимии спорта известно, что к. п. д. анаэробных реакций энергопреобразования значительно ниже, чем у аэробных процессов. Поэтому, если у спортсмена уровни



МПК и ПАНО низки (а эти две величины взаимосвязаны), он уже при относительно низкой мощности упражнения начинает использовать энергетически невыгодные анаэробные источники энергии. Это увеличивает энерготраты организма.

Поэтому показатели экономичности нельзя рассматривать только как показатели технического мастерства. Это комплексные показатели, зависящие как от эффективности техники, так и от функциональных возможностей (МПК, ПАНО) спортсмена.

Все описанные показатели эффективности техники (абсолютные, сравнительные, реализационные), дополняя друг друга, характеризуют ее с разных сторон. Обычно они соответствуют друг другу. Так, например, в беге на длинные дистанции спортсмены разной квалификации могут иметь примерно одинаковые функциональные возможности (двигательный потенциал). На рис. 137 черными кружками отмечены пять бегунов, имеющих примерно равные величины МПК, но резко различные результаты в беге — от 14.48,0 до 16.47,0 (их телосложение — рост, вес, длина ног — примерно одинаково). Согласно реализационному критерию (вариант «А»), следует признать эффективность техники бегунов, чьи достижения лежат выше линии регрессии (должного результата), хорошей, а бегунов, достижения которых лежат ниже линии регрессии, — плохой. Действительно, при анализе техники бега выявляются четкие различия между спортсменами с хорошей и плохой техникой (сравнительный критерий); в частности, технически слабые спортсмены не успевают завершить разгибание в тазобедренном суставе в период опоры (рис. 139), из-за этого подъем ЦТ тела в каждом шаге у них выше, а длина шага меньше (табл. 17).

Т а б л и ц а 17

Функциональные возможности и биомеханические показатели спортсменов с эффективной и неэффективной техникой бега на 5000 м (средние данные)

Эффектив- ность техники	Время бега	Длина тела, см	Вес тела, кг	МПК, мл/кг · м	Длина шага, м	Общее число шагов	Подъем ЦТ тела в каждом шаге, см	Работа на подъем, кгм
Плохая	16.30,0	169,0	57,5	67,9	1,60	3125	10	17968
Хорошая	14.52,0	168,7	55,5	68,4	1,77	2825	6	9407

Разница в величинах работы, затраченной на перемещение ЦТ тела вверх, у бегунов с хорошей и плохой техникой весьма велика — 8561 кгм; эта разница примерно соответствует работе по подъему тела весом 57 кг на высоту 150 м (50—55 этажей). Ясно, что излишний подъем ЦТ тела представляет ненужную работу, которая требует дополнительных затрат энергии (абсолютный критерий). Поэтому при беге с заданной скоростью бегуны с неэффективной техникой затрачивают больше энергии (реализационный критерий, вариант «Б») — их техника неэкономична.

В практике можно пользоваться как критериями из всех трех групп, так и выборочно отдельными из них.



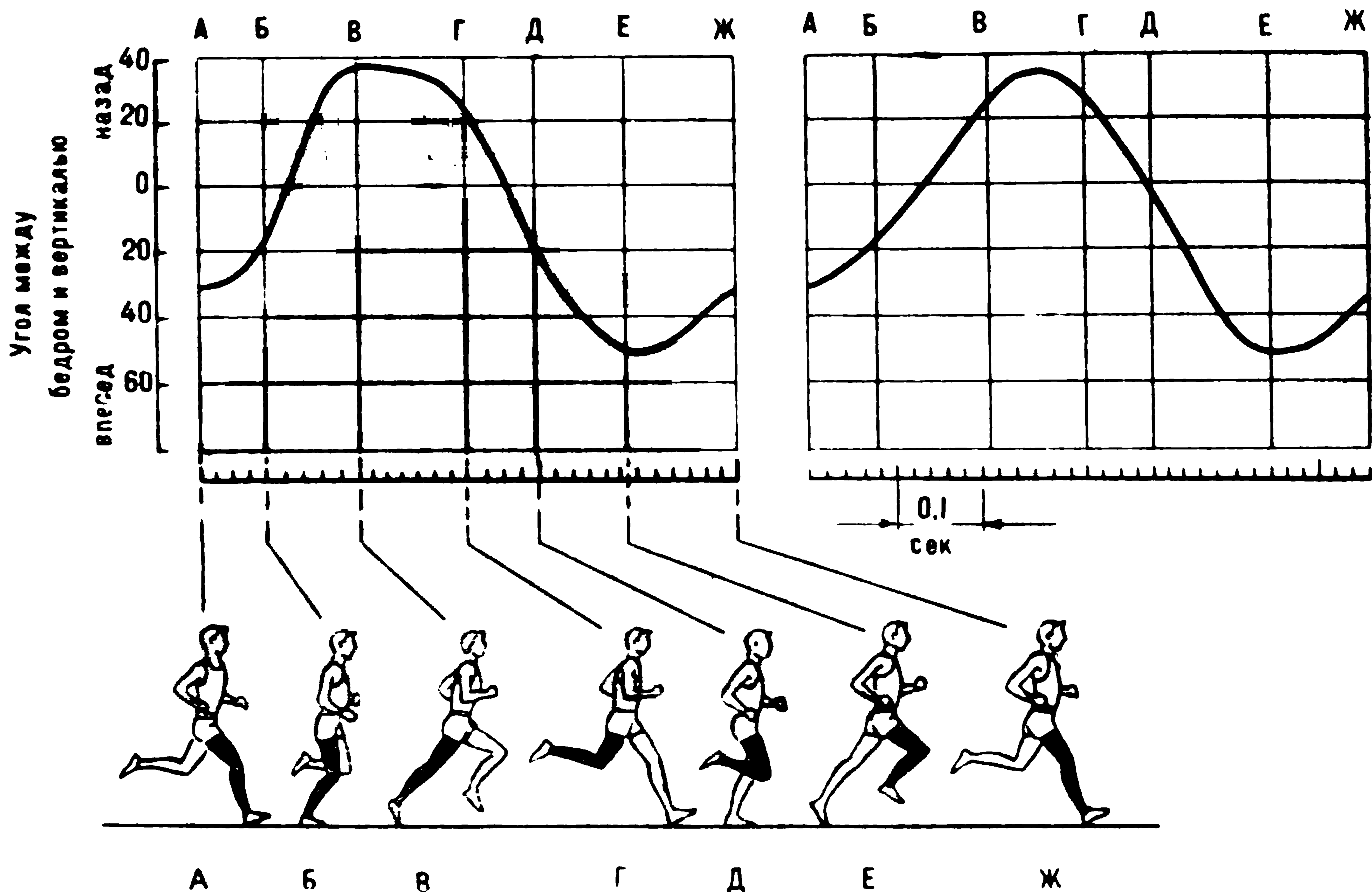


Рис. 139.

Движение бедра у стайера с эффективной (слева) и неэффективной (справа) техникой:

по абсциссе — время, по ординате — угол правого бедра относительно вертикали (в сагиттальной плоскости).

Видно, что у хорошего бегуна максимальное разгибание в тазобедренном суставе (оно сопровождается обычно поворотом таза) совпадает с завершением отталкивания (положение В); у бегуна с неэффективной техникой движение бедра назад продолжается в полетной фазе

## § 64. Освоенность техники

Техническое действие может быть освоено (заучено, закреплено) спортсменами в разной степени. Освоенность движения — относительно самостоятельная характеристика технического мастерства, не зависящая от эффективности техники. Например, у учеников старших классов средней школы почерк, как правило, хуже, чем у учащихся 3—4-х классов (техника письма неэффективна, не удовлетворяет эстетическим и психологическим критериям — почерк некрасив и малоразборчив), однако бесспорно, что старшеклассники освоили технику письма лучше. Спортсмен может хорошо освоить то или иное действие, но с существенными ошибками в технике (его техника при этом будет неэффективна) и, наоборот, буквально с первых попыток выполнять движение правильно, хотя и недостаточно хорошо освоив его. Он может быстро забыть правильное выполнение и уже на следующем занятии быть не в состоянии повторить свои первые правильные попытки.

Именно в связи с разной степенью владения движением издавна



были введены понятия о двигательных умениях и двигательных навыках. Двигательное умение — это приобретенная способность выполнять движение. Под двигательным навыком понимают достаточно хорошо освоенное умение. Характеристика физиологических и психологических явлений, лежащих в основе двигательных умений и навыков, дается в курсах физиологии и психологии. Здесь достаточно привести только биомеханическую характеристику освоенности движений, и в частности тех ее сторон, которые наиболее существенны для спортивно-технического мастерства.

Для хорошо освоенных движений типичны:

- 1) стабильность спортивного результата и ряда характеристик движения при выполнении его в стандартных условиях;
- 2) устойчивость (сравнительно малая изменчивость) результата при выполнении движения в меняющихся, в частности усложненных, условиях;
- 3) сохранение двигательного умения при перерывах в тренировке;
- 4) автоматизированность выполнения.

#### 64.1. Стабильность техники<sup>1</sup>

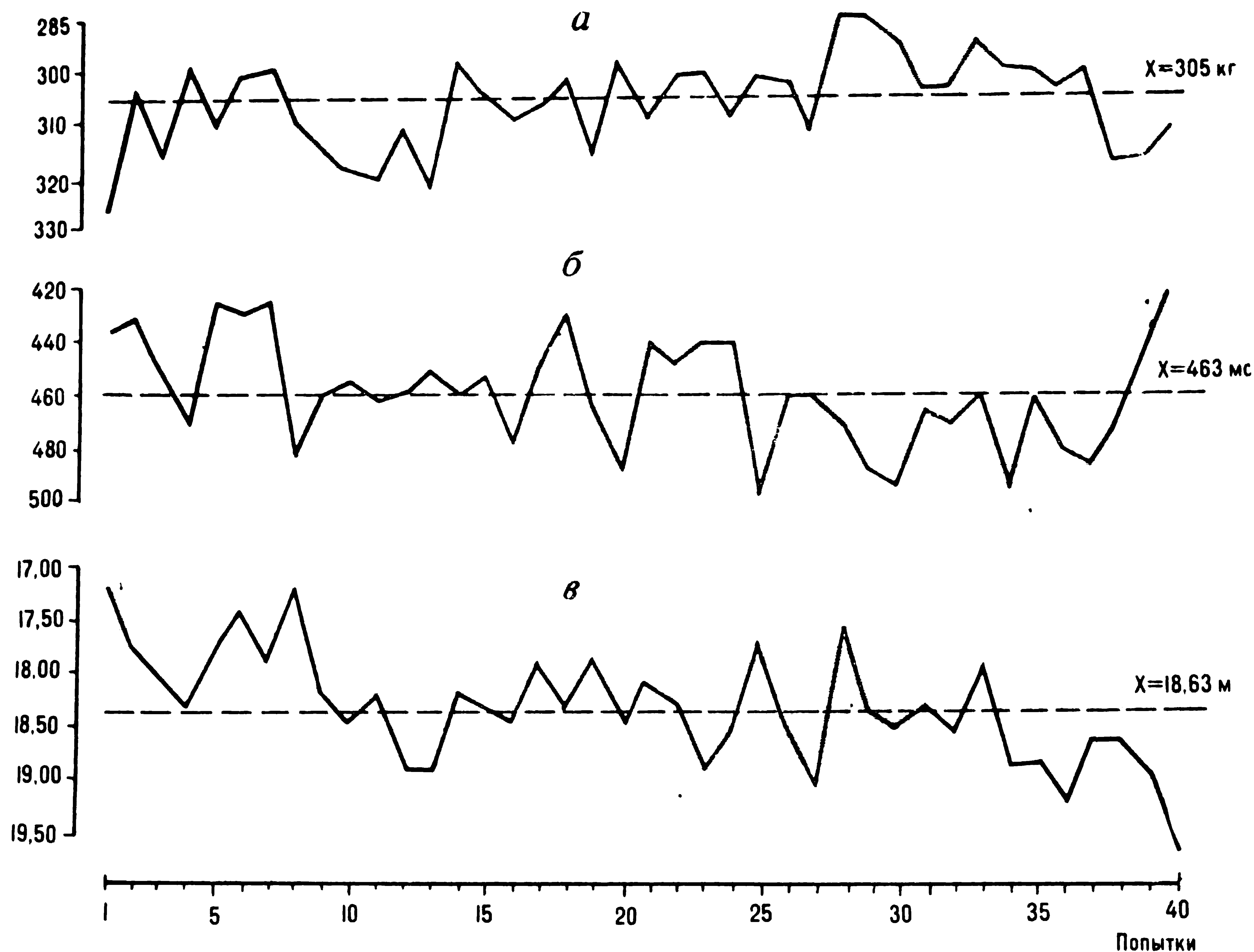
Спортсмен, хорошо освоивший какое-либо движение, выполняет его в стандартных, неизменных, условиях с относительно малой дисперсией (разбросом, диапазоном отклонений) существенных характеристик. Конечно, если ему приходится выполнять движение несколько раз, то от попытки к попытке ни результат, ни тем более другие характеристики движения не остаются вполне постоянными (рис. 140). Однако при этом у квалифицированных спортсменов дисперсия спортивного результата и существенных характеристик движения в ответственные его фазы меньше, чем у неквалифицированных спортсменов; отклонения не выходят за допустимые пределы, при которых движение оказывается невыполненным или значительно снижается спортивный результат (рис. 141).

Особенно четко эти особенности технического мастерства спортсменов высокой квалификации проявляются в тех двигательных заданиях, где требуется воспроизвести определенный результат, обеспечить высокую точность (все виды стрельбы, броски в цель, движения в гимнастике, прыжки в воду и т. п.). Если же стоит задача показать максимальный результат (легкая атлетика, спортивные локомоции и др.) то, судя по биомеханическим исследованиям, стабильность техники в процессе роста спортивного мастерства достигается раньше, чем ее высокая эффективность. Например, при повторном толкании ядра уже спортсмены II разряда имеют такой же разброс характеристик техники, как и мастера спорта международного класса, хотя при этом технические ошибки у второразрядников очень велики (А. А. Шалманов). Овладев не вполне эффективной техникой, они воспроизводят ее стабильно. Освоенность техники у них хорошая, эффективность — нет. В подобном случае хорошая освоенность техники может мешать ее дальнейшему совершенствованию.

---

<sup>1</sup> От лат. *stabilis* — устойчивый, постоянный, стабильный.



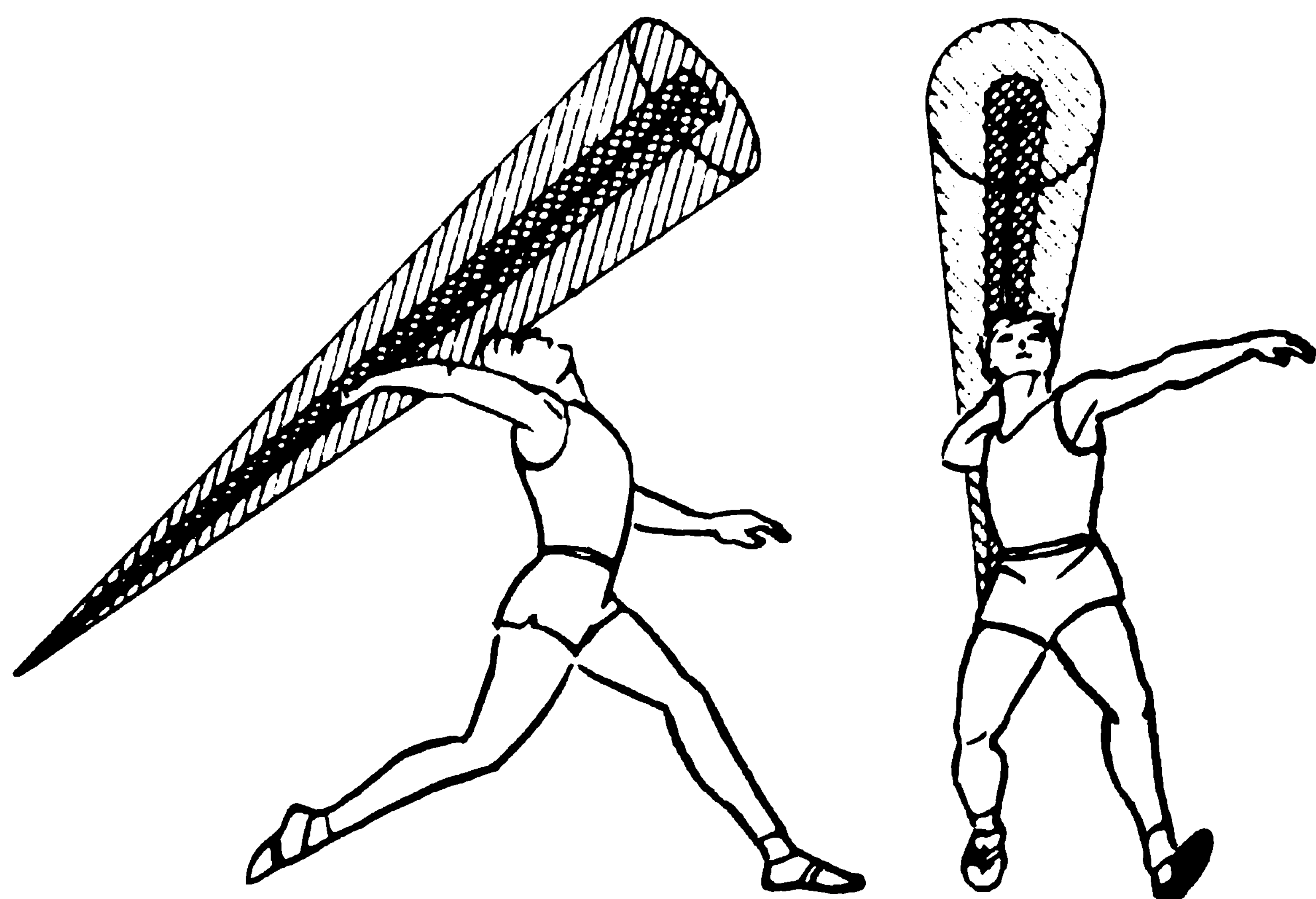


**Рис. 140.**

Вариативность в некоторых показателях техники и спортивного результата при многократном толкании ядра в стандартных условиях (Ан. А. Шалманов):

*a* — вертикальное усилие правой ноги в фазе финального разгона, *b* — длительность фазы финального разгона, *v* — результат толкания ядра

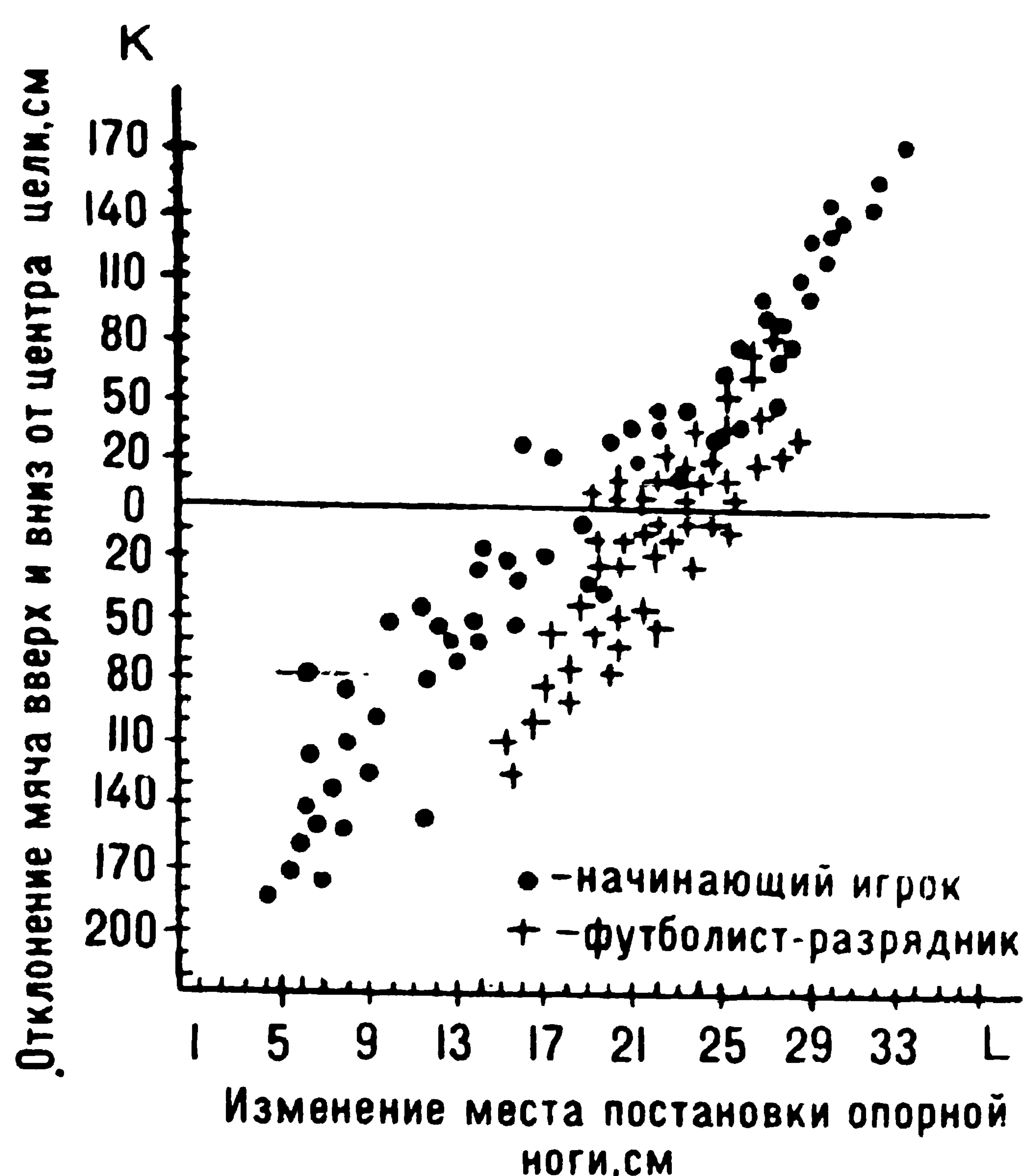
По ходу движения происходит коррекция отклонений и ошибок, допущенных в каких-либо характеристиках движения или первых фазах движения. Например, если у квалифицированных баскетболистов при выполнении штрафного броска ноги начинают разгибание медленнее, чем следует, то разгибание рук произойдет быстрее. Внешне это выражается в отрицательной корреляции между скоростями разгибания ног и рук. При этом ошибка, допущенная вначале (недостаточная скорость разгибания ног), не вызывает ошибки в наиболее ответственной финальной характеристике движения — скорости вылета мяча. Хотя ноги начали движение медленнее, чем следует, руки исправили эту ошибку, и скорость вылета мяча не вышла за допусти-



**Рис. 141.**

Допустимая вариативность углов (так называемого конуса атаки) при метании копья (по Ридеру и Волферману)





**Рис. 142.**

Зависимость точности попадания в мишень при ударе по мячу с разбегу от места постановки опорной ноги (Г. А. Смирнов)

мые пределы. Если такой коррекции не происходит, то ошибка, допущенная вначале, приводит к появлению ошибки в результирующей характеристике движения. Например, у начинающих футболистов неточность в постановке опорной ноги при ударе по мячу вызывает резкое отклонение мяча от цели (рис. 142). У спортсменов-разрядников эта зависимость выражена меньше, футболисты-мастера умеют исправлять подобную первоначальную неточность по ходу выполнения удара.

## 64.2. Устойчивость техники

Устойчивость техники характеризуется степенью изменения ее эффективности. Чем меньше снижение эффективности, тем выше устойчивость техники. Основными факторами, под действием которых изменяется эффективность техники, являются: изменение состояния спортсме-

на, действия противника, изменение внешних условий.

1. **Изменение состояния спортсмена**, в частности утомление и эмоциональное возбуждение, связанное с ответственными соревнованиями, присутствием зрителей, преодолением страха. В условиях ответственных соревнований эффективность техники может снизиться. Это особенно касается технических действий, требующих высокой точности выполнения (табл. 18). В то же время эмоциональное возбуждение способствует проявлению больших величин силы, быстроты, выносливости, гибкости.

Т а б л и ц а 18

Изменение точности бросков в прыжке у баскетболистов при разной напряженности игр (данные сборной команды СССР 1964 г — по И. Н. Преображенскому)

Игры или игровые упражнения	Средний процент попаданий
Упражнения 3 × 3 или 5 × 5 в одну корзину	65
Тренировочные игры	53
Контрольные встречи	43
Ответственные международные встречи	39

2. **Действия противника**. Существует давнее изречение: «Игрок играет настолько хорошо, насколько ему позволяет противник». Это справедливо и для единоборств. Однако спортсмены высокого класса при встрече с любым противником сохраняют достаточно высокую эффективность действий (табл. 19).



**Число и эффективность технических действий у сильнейших игроков  
на чемпионатах мира по футболу 1970 и 1974 гг.**

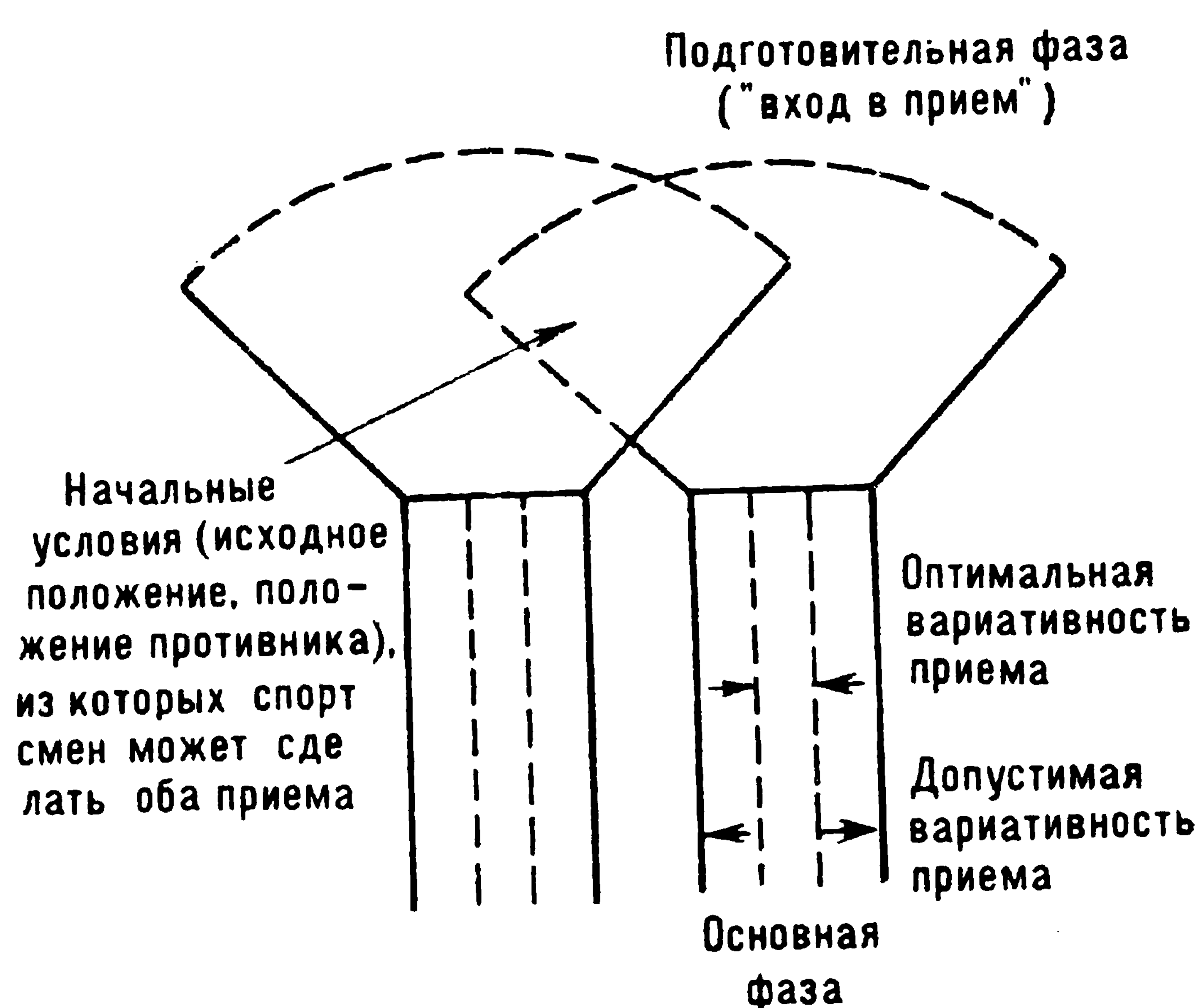
Год чемпионата	Игрок, команда	В игре с командой	Общее число действий с мячом	Эффективность, % успешных действий
1970	Пеле, Бразилия	Чехословакии	78	84
		Англии	54	83
		Италии	41	73
1970	Мюллер, ФРГ	Англии	33	60
		Италии	31	64
		Уругвая	40	85
1974	Беккенбауэр, ФРГ	Югославии	116	94
		Голландии	134	91

Сохранение высокой эффективности действий достигается благодаря превосходству в скоростных и силовых качествах, тактическом мастерстве, морально-волевой подготовке. Существенное значение имеет и техническое мастерство. Спортсмены высокого класса могут выполнить один и тот же прием при широком варьировании начальных условий и подготовительных действий. Схематически это можно представить (по А. А. Новикову) в виде «воронки», широкая часть которой соответствует подготовительным фазам приема, а узкая — основным (рис. 143). Чем выше мастерство, тем больше широкая часть «воронки». При этом квалифицированные спортсмены могут, находясь в одной и той же ситуации, выполнить не один, а несколько приемов: широкие части «воронки» у них как бы перекрываются. Кроме того, в подготовительных фазах приема они чаще и более квалифицированно выполняют обманные движения («финты»), сокращают длительность подготовительной фазы до оптимальной и т. д. — все это обеспечивает неожиданность приема для противника.

3. В н е ш н и е у с л о в и я. Иногда даже незначительное изменение внешних условий существенно затрудняет выполнение движения. Например гимнаст, привыкший выполнять соскок с перекладины находясь лицом в определенную сторону, нередко не может сделать его лицом в противоположную сторону. Изменение инвентаря, погодных условий, опорных поверхностей (снега, льда, дорожки, покрытия площадки) может отрицательно сказаться на результате, если только спортсмен не был заранее к этому подготовлен.

#### 64.3. Сохранение двигательного умения при перерывах в тренировке

Чем лучше освоено движение, тем прочнее сохраняется двигательное уме-



**Рис. 143.**

Соотношение вариативности подготовительных и основных фаз технических действий в играх и единоборствах (схема)



ние при перерывах в тренировке. Степень сохранения ее оценивают двумя способами:

а) по уровню (качеству) выполнения движения после перерыва (например, если до перерыва в тренировке спортсмен выполнял движение правильно всегда, а после перерыва только в половине всех случаев, то степень сохранения двигательного умения равна 50%);

б) по скорости (времени, числу попыток), необходимой для восстановления умения до первоначального уровня (например, если прыгну в воду для первоначального овладения прыжком «три с половиной оборота вперед» с вышки понадобилось 200 попыток, а после длительного перерыва он вновь достиг тех же оценок за этот прыжок через 50 попыток, то степень сохранения будет:  $100\% \times 150:200 = 75\%$ ).

Разные движения сохраняются и воспроизводятся по-разному. Люди, научившиеся в детстве плавать, ездить на велосипеде, кататься на коньках, затем могут выполнять эти движения всю жизнь, даже после многолетнего перерыва. В то же время метатели копья каждой весной тратят много времени и усилий на восстановление техники, утраченной за зиму. Эти различия определяются, конечно, не только своеобразием движений (что, впрочем, тоже существенно), но и разными требованиями к ним. Основа двигательного навыка сохраняется долго, порой на всю жизнь, но эффективность движения падает. Пловец, год не видевший воды, конечно, не разучится плавать, однако, даже если за это время его физическое состояние не ухудшилось, он может сразу после перерыва не показать высоких результатов из-за возникших погрешностей в технике.

Для длительного сохранения движения необходимо его «сверхзаучивание», т. е. длительное закрепление, многократные повторения уже после того, как достигнута необходимая эффективность техники. Экспериментально показано, что чем продолжительнее время, в течение которого движение выполнялось, тем прочнее сохраняется спортивная техника.

#### 64.4. Автоматизированность

Автоматизированность характеризуется возможностью выполнять движения не фиксируя специально внимания на процессе выполнения. Человек, впервые в жизни севший в академическую лодку-одиночку, не может одновременно грести и выполнять какое-либо дополнительное умственное задание (например, решать арифметические задачи): его внимание полностью сконцентрировано на сохранении равновесия и технике гребли. Квалифицированные гребцы могут грести, выполняя умственную работу: их внимание занято техникой гребли лишь частично. О степени автоматизированности движений судят с помощью так называемого метода дополнительных заданий, который позволяет установить, насколько внимание спортсмена концентрируется на выполнении движения. Для этого определяют способность человека к переработке информации в спокойных условиях (например, наговаривают ему с магнитофона трехзначные числа, а он должен быстро решить, делится ли очередное число на три; подсчитывается общее число ошибок), а затем то же задание предлагают ему во время



выполнения какого-либо движения. При этом подсчитывают, насколько увеличивается число ошибок, а затем определяют степень автоматизированности движения (табл. 20).

Т а б л и ц а 20

Степень автоматизированности выполнения некоторых заданий

Вид задания	Степень автоматизированности, %
Ходьба по ровной поверхности	100—105
Ходьба по лестнице	90—95
Езда на велоэргометре	88
Езда на велостанке	85—90 (мастера)
	10—15 (начинающие)
Академическая гребля	90—95 (мастера)
	0—10 (новички)
Вождение автомобиля (на полевой дороге)	65
Вождение автомобиля (в городе)	41
Игра в настольный теннис	39
Ходьба по гимнастическому бревну (у новичков)	38
Печатание на машинке	22
Чтение	0

Некоторые движения, например ходьба, могут быть настолько хорошо освоены, что умственная работа во время их выполнения становится даже эффективнее, чем в покое.

Таким образом, техническое мастерство спортсменов не может быть оценено каким-либо одним показателем. Его полная характеристика требует многостороннего подхода. Помимо объема, разносторонности и рациональности технических действий, которыми владеет спортсмен, необходимо учитывать их эффективность (с помощью абсолютных, сравнительных либо реализационных критериев) и освоенность техники.



Коэффициенты уравнений множественной регрессии вида  $Y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2$  для вычисления моментов инерции сегментов относительно фронтальной оси по длине тела ( $x_2$ ) и весу ( $X_1$ )

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$R$	$\sigma$ кг·см <sup>2</sup>
Стопа	—97,09	0,414	0,614	0,77	5,77
Голень	—1152	4,594	6,815	0,85	49
Бедро	—3690	32,02	19,24	0,85	244
Кисть	—13,68	0,088	0,092	0,43	2,7
Предплечье	—67,9	0,855	0,376	0,71	9,6
Плечо	—232	1,526	1,343	0,62	26,6
Голова	—112	1,43	1,73	0,49	40
Верхняя часть туловища	367	18,3	—5,73	0,66	171
Средняя часть туловища	263	26,7	—8,0	0,78	175
Нижняя часть туловища	—934	11,8	3,44	0,73	117

Пример. Испытуемый весит 70 кг, длина тела 173 см, тогда момент инерции голени относительно фронтальной оси голени, проходящей через центр тяжести сегмента, вычисляется:  $y = -1152 + 4,594 \times 70 + 6,815 \times 173 = 348,5$  кг·см<sup>2</sup>

Коэффициенты уравнений множественной регрессии вида  $Y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2$  для вычисления моментов инерции сегментов относительно сагиттальной оси по длине тела ( $x_2$ ) и весу ( $X_1$ )

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$R$	$\sigma$ кг·см <sup>2</sup>
Стопа	—100	0,480	0,626	0,75	6,8
Голень	—1105	4,59	6,63	0,85	48,6
Бедро	—3557	31,7	18,61	0,84	248
Кисть	—19,5	0,17	0,116	0,50	3,7
Предплечье	—64	0,95	0,34	0,71	10,2
Плечо	—250,7	1,56	1,512	0,623	27,6
Голова	78	1,171	1,519	0,4	42,5
Верхняя часть туловища	81,2	36,73	—5,97	0,73	297
Средняя часть туловища	618,5	39,8	—12,87	0,81	237
Нижняя часть туловища	—1568	12	7,741	0,69	156

Характеристики движений человека (физические величины, их обозначения и формулы, единицы измерения и формулы размерности)

Характеристика	Механическая величина	Обозначение и формула	Единица измерения (в СИ)	Формула размерности
Координата линейная	Длина	$s_x = OA_x;$ $s_y = OA_y;$ $s_z = OA_z$	метр (м)	$L$



Характеристика	Механическая величина	Обозначение и формула	Единица измерения (в СИ)	Формула размерности
Координата угловая	Угол	$\varphi = \frac{s}{r}$	радиан (rad)	$L^{\circ}$
Перемещение линейное	Длина	$\Delta s = s_t - s_0$	м	$L$
Перемещение угловое	Угол	$\Delta \varphi = \varphi_t - \varphi_0$	rad	$L^{\circ}$
Длина траектории	Длина	$l = \Sigma ds$	м	$L$
Кривизна траектории		$k = \frac{1}{R}$	—	$L^{-1}$
Момент времени	Время	$t$	секунда (с)	$T$
Длительность движения	Время	$\Delta t = t_1 - t_0$	с	$T$
Темп движений	Частота	$N = \frac{\lambda}{\Delta t}$	герц (Гц)	$T^{-1}$
Ритм движений	—	$R = \Delta t_{21} : \Delta t_{32}$	—	$T^{\circ}$
Скорость точки	Скорость	$v = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$	м/с	$L T^{-1}$
Скорость угловая	Скорость угловая	$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}$	rad/c	$L^{\circ} T^{-1}$
Ускорение линейное	Ускорение	$a = \frac{dv}{dt} = \dot{v}$	м/с <sup>2</sup>	$L T^{-2}$
Ускорение нормальное	Ускорение	$a_n = \frac{v^2}{r} = r \omega$	м/с <sup>2</sup>	$L T^{-2}$
Ускорение тангенциальное	Ускорение	$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = r \varepsilon$	м/с <sup>2</sup>	$L T^{-2}$
Ускорение угловое	Ускорение	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega}$	rad/c <sup>2</sup>	$L T^{-2}$
Масса	Масса	$m = \frac{F}{a}$	килограмм (кг)	$M$
Момент инерции тела	Момент инерции тела	$I = \Sigma m_i r_i^2$	кг·м <sup>2</sup>	$L^2 M$



Характеристика	Механическая величина	Обозначение и формула	Единица измерения (в СИ)	Формула размерности
Радиус инерции	Радиус инерции	$R_{ин} = \sqrt{\frac{I}{m}}$	м	$L$
Сила	Сила	$F = ma$	ньютон (н) $кг \cdot м/с^2$	$L M T^{-2}$ —
Сила центростремительная	Сила	$F_{цс} = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$	н	$L M T^{-2}$
Сила инерции	Сила	$F_{ин} = -ma$	н	$L M T^{-2}$
Сила упругой деформации	Сила	$F_{упр} = C \Delta l$	н	$L M T^{-2}$
Сила тяготения	Сила	$F_{тяг} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$	н	$L M T^{-2}$
Сила тяжести	Сила	$G = F_{тяг} + F_{ин}$	н	$L M T^{-2}$
Сила действия среды	Сила	$R_x = SC_x \rho v^2$	н	$L M T^{-2}$
Сила трения	Сила	$T = k_{тр} N$	н	$L M T^{-2}$
Момент силы полярный	Момент силы	$M_c(F) = F d$	ньютон-метр (н·м)	$L^2 M T^{-2}$
Момент силы осевой	Момент силы	$M_z(F) = F_T d$	н·м	$L^2 M T^{-2}$
Импульс силы	Импульс силы	$S = \int_{t_0}^t F dt$	ньютон-секунда (н·с)	$L M T^{-1}$
Импульс момента силы	Импульс момента силы	$S_z = \int_{t_0}^t M_z(F) dt$	ньютон-метр-секунда (н·м'с)	$L^2 M T^{-1}$
Количество движения	Количество движения	$K = mv$	$кг \cdot м/с$	$L M T^{-1}$
Кинетический момент	Кинетический момент	$K_z = I \omega$	$кг \cdot м^2/с$	$L^2 M T^{-1}$



Характеристика	Механическая величина	Обозначение и формула	Единица измерения (в СИ)	Формула размерности
Радиус инерции	Радиус инерции	$R_{ин} = \sqrt{\frac{I}{m}}$	м	$L$
Сила	Сила	$F = ma$	ньютон (н) $кг \cdot м/с^2$	$L MT^{-2}$ —
Сила центростремительная	Сила	$F_{цс} = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$	н	$L MT^{-2}$
Сила инерции	Сила	$F_{ин} = -ma$	н	$L MT^{-2}$
Сила упругой деформации	Сила	$F_{упр} = C \Delta l$	н	$L MT^{-2}$
Сила тяготения	Сила	$F_{тяг} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$	н	$L MT^{-2}$
Сила тяжести	Сила	$G = F_{тяг} + F_{ин}$	н	$L MT^{-2}$
Сила действия среды	Сила	$R_x = SC_x \rho v^2$	н	$L MT^{-2}$
Сила трения	Сила	$T = k_{тр} N$	н	$L MT^{-2}$
Момент силы полярный	Момент силы	$M_c(F) = F d$	ньютон·метр (н·м)	$L^2 MT^{-2}$
Момент силы осевой	Момент силы	$M_z(F) = F_T d$	н·м	$L^2 MT^{-2}$
Импульс силы	Импульс силы	$S = \int_{t_0}^t F dt$	ньютон·секунда (н·с)	$L MT^{-1}$
Импульс момента силы	Импульс момента силы	$S_z = \int_{t_0}^t M_z(F) dt$	ньютон·метр·секунда (н·м/с)	$L^2 MT^{-1}$
Количество движения	Количество движения	$K = mv$	$кг \cdot м/с$	$L MT^{-1}$
Кинетический момент	Кинетический момент	$K_z = I \omega$	$кг \cdot м^2/с$	$L^2 MT^{-1}$



Характеристика	Механическая величина	Обозначение и формула	Единица измерения (в СИ)	Формула размерности
Работа силы	Работа силы	$A = \int_0^s F ds$	джоуль (дж) (н·м)	$L^2 MT^{-2}$
Работа силы тяжести	Работа силы	$A_{\text{тяж}} = Ph$	дж	$L^2 MT^{-2}$
Работа упругой силы	Работа силы	$A_{\text{упр}} = -\frac{G \Delta l^2}{2}$	дж	$L^2 MT^{-2}$
Работа силы трения	Работа силы	$A_{\text{тр}} = -k_{\text{тр}} N s$	дж	$L^2 MT^{-2}$
Мощность силы	Мощность силы	$N = \frac{dA}{dt} = Fv$	ватт (вт) (дж/с)	$L^2 MT^{-3}$
Кинетическая энергия поступательно движущегося тела	Кинетическая энергия	$E_{\text{к(пост)}} = \frac{mv^2}{2}$	дж	$L^2 MT^{-2}$
Кинетическая энергия вращающегося тела	Кинетическая энергия	$E_{\text{к(вр)}} = \frac{I\omega^2}{2}$	дж	$L^2 MT^{-2}$
Потенциальная энергия в поле сил тяжести	Потенциальная энергия	$E_{\text{п(тяж)}} = Gh$	дж	$L^2 MT^{-2}$
Потенциальная энергия упруго деформированного тела	Потенциальная энергия	$E_{\text{п(упр)}} = \frac{C \Delta l^2}{2}$	дж	$L^2 MT^{-2}$



## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автоматизированность 252—253  
Амортизация 31, 172  
Антиципация 106
- Биодинамика бега 186—190  
— лыжного хода 192—197  
— передвижений с механическими преобразователями движений 197—198  
— плавания брассом 195—197  
— прыжка 184—186  
— ходьбы 190—192  
Биокинематическая пара 39  
— цепь 40—41  
— — замкнутая 40—41  
— — незамкнутая 40—41  
Биомеханические характеристики — 16—28  
— выносливости 112—113  
— двигательных качеств 91—119  
— силовых качеств 94—95  
— скоростных качеств 101—102  
Биосистема 5
- Вес тела 76  
— динамический 77  
— статический 77  
Высота выпуска снаряда 200  
— прыжка 184
- Геометрия масс тела 61—66  
Гибкость (подвижность в суставах) 118—119  
Главный вектор внешних сил 155  
— момент внешних сил 155  
Гониометрия 118  
Градиент силы 103—104  
Граничная поза 121
- Двигательная асимметрия 233—235  
Двигательные качества 91—93  
Двигательный акселерант 222  
— возраст 222—223  
— ретардант 222  
Движение тела переносное 66  
— — относительное 66  
— — поступательное 67  
— — результирующее 67  
— — сложное 67  
— — составное 66—72  
Движения звеньев 68—69  
— — возвратно-вращательные 68  
— — возвратно-поступательные 68  
— — круговые 68  
Движения вокруг осей 142—154  
— колебательные 87—90  
— локомоторные 173—198  
— перемещающие 198—214  
— преодолевающие 166  
— стартовые 182  
— уступающие 166  
— шагательные 178—182  
Демпфирование 172  
Деформация 5, 74—76  
— внутренняя 59  
— мышечная 59  
— позная 59  
Динамические характеристики 29—38  
— инерционные 29—31  
— силовые 31—36  
— энергетические 36—38  
Дискриминативные признаки 241—242  
Диссипация 59  
Длина шага 181, 192  
— прыжка 184  
— мышцы 47, 50  
Длительность движения 24
- Жесткость суставная 72
- Закон сохранения кинетического момента 146  
— — кинетической энергии 174  
— — количества движения 165  
— — движения центра масс системы 163  
Зависимость параметрическая 104—105  
— непараметрическая 104—105
- Импульс силы 34—35  
— момента силы 35, 148  
Инертность 29  
Инерция 29
- Кинематические характеристики 16—28  
— временные 24—26  
— пространственные 19  
— пространственно-временные 26—28  
Кинетический момент 35, 148  
Количество движения 35, 165  
Коэффициент восстановления 210  
— выносливости 113  
— демпфирования 172  
— жесткости (упругости) 75, 172  
— полезного действия силы (КПД) 37, 172  
— — — мышцы 51  
— реактивности 104  
— трения 80  
— — качения 81  
— — скольжения 80  
— устойчивости 157  
— экономичности валовой (брутто-коэффициент) 114  
— — дельта-коэффициент 114  
— — нетто-коэффициент 114  
Коэффициент эффективности мышечной работы (КЭР) 172
- Латентный период 49—50  
Латеральное доминирование 234



Локомоции наземные 173—183

— спортивные 183—198

Масса тела 30

Маятники биокинематические 45

— составные 45

Механизм неполносвязный 41

— отталкивания 170, 173

— полносвязный 42, 55—57

Механизмы соединений 58

Механические движения 5

Момент времени 24

— инерции системы материальных точек 64

— — тела 30, 64, 66

— — — центральный 65

— кинетический 35, 148

— силы 32—34, 43, 144

— — суставной 71

Мощность силы 37

— — мышечного сокращения 51

Мышечные синергии 58

Мышцы-антагонисты 55—57

— синергисты 55

Нутация 149

Общий центр масс тела (ОЦМ) 61—64

Онтогенез моторики 218—232

Освоенность техники 247—253

Перемещение тела 22

— — линейное 22

— — угловое 23

— системы тел 23

Плечо рычага 43

— силы 32, 43

Показатели дефинитивные 224

— технического мастерства 235—239

— реализационной эффективности техники 142—146

— ювенильные 224

Прецессия 149

Принцип невизма 9

Прогноз развития моторики 223—224

Работа механическая 216

— мышц 51

— — анизометрическая 51

— — анизотоническая 53

— — динамическая 54

— — изометрическая 51

— — изотоническая 53

— — преодолевающая (миометрическая, концентрическая) 53

— — реверсивная 51

— — статическая 54

— — удерживающая 158

— — укрепляющая 158

— — уступающая (плиометрическая, эксцентрическая) 53

— — фиксирующая 158

— отрицательная 169

— положительная 169

— силы 36—37

— — внешней 38

— — внутренней 38

— — тяжести 36

— — трения 36

— — упругости 36

Равновесие тела 154—156

— безразличное 156

— неустойчивое 156

— ограниченно-устойчивое 156

— устойчивое 156

Равновесие костных рычагов 43—44

Радиус инерции тела 30—31

Размеры тела 215—216

— линейные 216—217

— объемные 216

— поверхностные 216

— тотальные 215

Рациональность техники 237—239

Реакция опоры 77—78

Рекуперация энергии 86, 117

Ритм 25—26, 181—182

Рычаг двуплечий (первого рода) 42

— костный 42—44

— одноплечий (второго рода) 42

— составной 44

Сила 32

— Архимеда 66, 78

— внешняя 72, 83

— внутренняя 72, 81—82

— возвращающая 71

— движущая 71

— действия среды 78—79

— — тела человека 83

— динамическая 70—71

— дистантная 73

— инерции реальная 73

— — — тангенциальная 73

— — — центробежная 73

— — фиктивная 74

— контактная 73

— лобового сопротивления 78, 201

— мышечной тяги 47—48, 81

— отклоняющая 71

— относительная 215

— подъемная 80, 201

— реактивная (пассивная) 78, 164

Сила реакции опоры 77—78

— статическая 69

— суставная 71

— трения 80—81

— — верчения 81

— — качения 81

— — скольжения 80

— торможения 71

— тяжести 76

— упругая 82



- упругой деформации 74
- ускоряющая 71
- Системно-структурный подход 8—9
- Системный анализ движения 10
- синтез движений 10
- Система движений 119
- отсчета времени 19
- — расстояния 17—18
- — — инерциальная 17
- — — неинерциальная 17
- самоуправляемая 129—131
- Скоростно-силовой индекс 103
- Скорость линейная 27
- мгновенная 27
- системы тел 27
- средняя 27
- угловая 27
- тела 27
- точки 26
- Соединения звеньев тела 39—42
- Спортивно-техническое мастерство 235—253
- Способы задания координат 18
- векторный 18
- естественный 18
- координатный 18
- Стабильность техники 248—250
- Стартовый разгон 183
- Степени свободы движений 41
- Структура системы движений 122—124
- двигательная 124
- динамическая 126
- информационная 127
- кинематическая 125
- координационная 128
- психологическая 127
- ритмическая 128
- сенсорная 127
- фазовая 128
- энергетическая 126
- эффекторная 127
- Тело отсчета 17
- Темп движения 24—25
- Теорема Вариньона 64
- Гюйгенса-Штейнера 64
- Теория структурности движения 9
- удара 208—211
- Топография силы 99—100
- Точность движений 205—208
- целевая 206
- Траектория точки 21
- Угол атаки 199—200
- вылета снаряда 199
- — азимут 199
- динамической устойчивости 157
- «отталкивания» 176—178

- Ударные действия 208—214
- Уравнение Хилла 50
- Ускорение касательное 28
- Коиолиса 67
- линейное 28
- нормальное 28
- точки 28
- угловое 28
- Устойчивость техники 250—251
- Утомление 110—112

- Фаза 121
- Формы движения материи 4—5
- Функциональный метод 10

- Центр инерции тела 72, 74
- масс звеньев 63
- — тела 63—64
- объема тела 66
- поверхности тела 66
- тяжести тела 72

- Частота движений 181
- шагов 181, 192

- Элементы движения 120—122
- пространственные 120—121
- временные 121—122
- Электромеханический интервал (ЭМИ) 105
- Электромиография 13
- Энергетические характеристики 36—38
- Энергия мышечного сокращения 51
- Энергия тела 37—38
- кинетическая 37
- — вращательного движения 37
- — плоско-параллельного движения 38
- — поступательного движения 37
- механическая 37
- полная 38
- потенциальная 37
- — упруго-деформированного тела 37—38, 75
- Экономизация спортивной техники 113—118
- Эргометрия 107—110
- Эффект Магнуса 200
- Эффективность техники 239—247
- абсолютная 239—241
- реализация 242—247
- сравнительная 241—242
- ударного взаимодействия 212



Предисловие . . . . .	3
Глава I. Предмет и метод биомеханики (Д. Д. Донской) . . . . .	4
§ 1. Предмет биомеханики . . . . .	4
1.1. Понятие о формах движения (4). 1.2. Механическое движение в живых системах (5). 1.3. Особенности механического движения человека (6).	
§ 2. Задачи биомеханики спорта . . . . .	7
2.1. Общая задача изучения движения (7). 2.2. Частные задачи биомеханики спорта (7).	
§ 3. Содержание биомеханики спорта . . . . .	8
3.1. Теория биомеханики спорта (8). 3.2. Метод биомеханики спорта (9).	
§ 4. Развитие биомеханики спорта . . . . .	11
4.1. Предпосылки развития биомеханики (11). 4.2. Направления развития биомеханики человека (12). 4.3. Современный этап развития биомеханики спорта (14). 4.4. Связи биомеханики с другими науками (15).	
Глава II. Биомеханические характеристики тела человека и его движений (Д. Д. Донской) . . . . .	16
Кинематические характеристики . . . . .	16
§ 5. Системы отсчета расстояния и времени . . . . .	17
5.1. Системы отсчета расстояния (17). 5.2. Системы отсчета времени (19).	
§ 6. Пространственные характеристики . . . . .	19
6.1. Координаты точки, тела и системы тел (20). 6.2. Траектория точки (21).	
§ 7. Временные характеристики . . . . .	24
7.1. Момент времени (24). 7.2. Длительность движения (24). 7.3. Темп движений (24). 7.4. Ритм движений (25).	
§ 8. Пространственно-временные характеристики . . . . .	26
8.1. Скорость точки и тела (26). 8.2. Ускорение точки и тела (28).	
Динамические характеристики . . . . .	29
§ 9. Инерционные характеристики . . . . .	29
9.1. Понятие об инертности (29). 9.2. Масса тела (29). 9.3. Момент инерции тела (30).	
§ 10. Силовые характеристики . . . . .	31
10.1. Сила и момент силы (32). 10.2. Импульс силы и импульс момента силы (34).	
§ 11. Энергетические характеристики . . . . .	36
11.1. Работа силы и ее мощность (36). 11.2. Механическая энергия тела (37).	
Глава III. Строение и функции биомеханической системы двигательного аппарата (Д. Д. Донской) . . . . .	38
Биокинематические цепи . . . . .	39
§ 12. Соединения звеньев тела . . . . .	39
12.1. Биокинематические пары и цепи (39). 12.2. Степени свободы и связи движений (41).	
§ 13. Звенья тела как рычаги и маятники . . . . .	42
13.1. Рычаги в биокинематических цепях (42). 13.2. Условия равновесия и ускорения костных рычагов (43). 13.3. Биокинематические маятники (45).	
Биодинамика мышц (В. М. Зациорский) . . . . .	45
§ 14. Механические свойства мышц . . . . .	45
§ 15. Механика мышечного сокращения . . . . .	48
§ 16. Мощность, работа и энергия мышечного сокращения . . . . .	51
§ 17. Механическое действие мышц (Д. Д. Донской) . . . . .	52
17.1. Сила и результат тяги мышц (52). 17.2. Разновидности работы мышц (53).	
§ 18. Групповые взаимодействия мышц . . . . .	54
18.1. Рабочие и опорные тяги мышц (54). 18.2. Биодинамически полносвязный механизм (55).	
Биомеханическая система . . . . .	57



§ 19. Строение биомеханической системы . . . . .	57
19.1. Звенья биокинематических цепей (57). 19.2. Механизмы соединений (58). 19.3. Мышечные синергии (58).	
§ 20. Свойства биомеханической системы . . . . .	58
20.1. Энергетическое обеспечение движений (59). 20.2. Приспособительная активность (59).	
Глава IV. Биодинамика двигательных действий (Д. Д. Донской) . . . . .	61
§ 21. Геометрия масс тела (В. М. Зазиорский) . . . . .	61
21.1. Общий центр масс тела человека (61). 21.2. Момент инерции тела (64). 21.3. Центр объема и центр поверхности тела (66).	
§ 22. Составные движения в биокинематических цепях . . . . .	66
22.1. Составляющие составного движения (66). 22.2. Движения биокинематических цепей (68). 22.3. Динамика составных движений (69).	
§ 23. Силы в движениях человека . . . . .	72
23.1. Силы инерции внешних тел (73). 23.2. Силы упругой деформации (74). 23.3. Силы тяжести и вес (76). 23.4. Силы реакции опоры (77). 23.5. Силы действия среды (78). 23.6. Силы трения (80). 23.7. Силы, внутренние относительно тела человека (81). 23.8. Роль сил в движениях человека (83).	
§ 24. Биоэнергетика двигательных действий . . . . .	84
24.1. Превращение и преобразования энергии в двигательных действиях (84). 24.2. Энергетика возвратных движений (86). 24.3. Режим колебательных движений (87).	
§ 25. Биомеханика дыхательных движений (В. М. Зазиорский) . . . . .	90
Глава V. Биомеханика двигательных качеств (В. М. Зазиорский) . . . . .	91
§ 26. Понятие о двигательных качествах . . . . .	91
§ 27. Биомеханическая характеристика силовых качеств . . . . .	94
27.1. Сила действия человека (94). 27.2. Понятие о силовых качествах (94). 27.3. Сила действия человека и сила мышц (95). 27.4. Зависимость силы действия от параметров двигательных заданий (95). 27.5. Положение тела и сила действия человека (97). 27.6. Выбор положения тела при тренировке силы (98). 27.7. Топография силы (99). 27.8. Биомеханические требования к специальным силовым упражнениям. Метод сопряженного воздействия (100).	
§ 28. Биомеханическая характеристика скоростных качеств . . . . .	101
28.1. Понятие о скоростных качествах (101). 28.2. Динамика скорости (102). 28.3. Скорость изменения силы (градиент силы) (103). 28.4. Параметрические и непараметрические зависимости между силовыми и скоростными качествами (104). 28.5. Биомеханические аспекты двигательных реакций (105).	
§ 29. Биомеханическая характеристика выносливости . . . . .	107
29.1. Основа эргометрии (107). 29.2. Утомление и его биомеханические проявления (110). 29.3. Выносливость и способы ее измерения (112). 29.4. Проблема экономизации спортивной техники (113). 29.5. Биомеханические основы экономизации спортивной техники. Особенности спортивной техники в упражнениях, требующих выносливости (115).	
§ 30. Биомеханическая характеристика гибкости . . . . .	118
Глава VI. Системы движений и организация управления ими (Д. Д. Донской) . . . . .	119
Двигательные действия как системы движений . . . . .	120
§ 31. Состав системы движений . . . . .	120
31.1. Пространственные элементы и их подсистемы (120). 31.2. Временные элементы и их подсистемы (121).	
§ 32. Структура системы движений . . . . .	122
32.1. Структура как проявление взаимодействия (122). 32.2. Двигательная структура (124). 32.3. Информационная структура (127). 32.4. Обобщенные структуры (128).	
Спортивное действие как управляемая система движений . . . . .	128
§ 33. Самоуправляемые системы . . . . .	129
33.1. Понятия об управлении (129). 33.2. Построение самоуправления движениями (130). 33.3. Информация и ее передача (132).	



§ 34. Управление движениями в переменных условиях . . . . .	134
34.1. Функциональная структура двигательного действия (134). 34.2. Оптимизация управления (136). 34.3. Формирование и совершенствование систем движений (136).	
§ 35. Направление развития систем движений . . . . .	138
35.1. Интеграция и дифференциация (138). 35.2. Стабилизация и вариативность (139). 35.3. Стандартизация и индивидуализация (140). 35.4. Соотношение произвольности и автоматизма в управлении (141). 35.5. Фиксация и прогрессирование (142).	
Глава VII. Движения вокруг осей (Д. Д. Донской) . . . . .	142
Общие основы движений вокруг осей . . . . .	142
§ 36. Динамика вращательного движения . . . . .	142
36.1. Механизм вращательного движения звена (142). 36.2. Изменение вращательного движения звена (144). 36.3. Изменение вращательных движений системы звеньев (144).	
§ 37. Управление движениями вокруг осей . . . . .	146
37.1. Управление движениями вокруг осей с изменением кинетического момента системы (146). 37.2. Управление движениями вокруг осей с сохранением кинетического момента системы (148)	
Примеры вращательных упражнений . . . . .	151
§ 38. Вращательные упражнения без опоры . . . . .	151
§ 39. Вращательные упражнения при опоре . . . . .	153
Глава VIII. Сохранение и изменение положения тела (Д. Д. Донской) . . . . .	154
Равновесие тела человека . . . . .	154
§ 40. Условия равновесия тела и системы тел . . . . .	154
40.1. Силы, уравнивающиеся при сохранении положения (154). 40.2. Условия уравнивания действия сил (155). 40.3. Виды равновесия тела и его устойчивость (156)	
§ 41. Сохранение и восстановление положения тела человека . . . . .	159
41.1. Условия устойчивости тела человека (159). 41.2. Управление сохранением положения (160). 41.3. Биодинамика осанки (161).	
Движения на месте . . . . .	163
§ 42. Изменение движения центра масс системы . . . . .	163
42.1. Движение центра масс системы (163). 42.2. Изменение количества движения системы (165). 42.3. Преодолевающие и уступающие движения (166).	
§ 43. Механизмы приближения к опоре и отдаления от нее . . . . .	168
43.1. Механизмы притягивания (168). 43.2. Уступающие движения при верхней опоре (169). 43.3. Механизм отталкивания (170). 43.4. Уступающее приближение к нижней опоре (170).	
Глава IX. Локомоторные движения (Д. Д. Донской) . . . . .	173
Общие основы наземных локомоций . . . . .	173
§ 44. Механизм отталкивания от опоры . . . . .	173
44.1. Взаимодействие опорных и подвижных звеньев с опорой (173). 44.2. Работа ускоряющих сил и изменение кинетической энергии при отталкивании (174). 44.3. Маховые движения при отталкивании (175). 44.4. Направление отталкивания от опоры (176).	
§ 45. Шагательные движения . . . . .	178
45.1. Элементы шагательных движений (179). 45.2. Сопутствующие движения туловища и рук (181). 45.3. Скорость, длина, частота и ритм шагов (181).	
§ 46. Стартовые действия . . . . .	182
46.1. Стартовые положения (182). 46.2. Стартовые движения (182). 46.3. Стартовый разгон (183).	
Виды локомоций . . . . .	183
§ 47. Биодинамика прыжка . . . . .	184
47.1. Разбег (184). 47.2. Отталкивание (185). 47.3. Полет (186).	
§ 48. Биодинамика бега . . . . .	186
48.1. Полет (186). 48.2. Взаимодействие с опорой (190). 48.3. Бег на разные дистанции (190).	
§ 49. Биодинамика ходьбы . . . . .	190
49.1. Одиночная опора (191). 49.2. Двойная опора (192).	



§ 50. Биодинамика лыжного хода . . . . .	192
50.1. Период скольжения лыжи (192). 50.2. Период стояния лыжи (194).	
§ 51. Биодинамика плавания брассом . . . . .	195
51.1. Основные действия (195). 51.2. Подготовительные действия (195).	
§ 52. Биодинамика передвижения с механическими преобразователями . . . . .	197
52.1. Передача усилий при педалировании (197). 52.2. Передача усилий при академической гребле (198).	
Глава X. Перемещающие движения (В. М. Зациорский) . . . . .	198
§ 53. Полет спортивных снарядов . . . . .	199
§ 54. Сила действия в перемещающих движениях . . . . .	201
§ 55. Скорость в перемещающих движениях . . . . .	202
§ 56. Точность в перемещающих движениях . . . . .	205
§ 57. Ударные действия . . . . .	208
57.1. Основы теории удара (208). 57.2. Биомеханика ударных действий (211).	
Глава XI. Индивидуальные и групповые особенности моторики (дифференциальная биомеханика) (В. М. Зациорский) . . . . .	214
§ 58. Телосложение и моторика человека . . . . .	215
§ 59. Онтогенез моторики . . . . .	218
59.1. Роль созревания и научения в онтогенезе моторики (218). 59.2. Двигательный возраст (222). 59.3. Прогноз развития моторики (223). 59.4. Онтогенез моторики в отдельные возрастные периоды (224). 59.5. Влияние возраста на эффект обучения и тренировки (230).	
§ 60. Особенности моторики женщин . . . . .	232
§ 61. Двигательные предпочтения . . . . .	233
Глава XII. Спортивно-техническое мастерство (В. М. Зациорский) . . . . .	235
§ 62. Показатели технического мастерства . . . . .	235
62.1. Объем технической подготовленности (235). 62.2. Разносторонность технической подготовленности (236). 62.3. Рациональность техники (237).	
§ 63. Эффективность владения спортивной техникой . . . . .	239
63.1. Абсолютная эффективность (239). 63.2. Сравнительная эффективность (241). 63.3. Реализационная эффективность (эффективность реализации) (242).	
§ 64. Освоенность техники . . . . .	247
64.1. Стабильность техники (248). 64.2. Устойчивость техники (250). 64.3. Сохранение двигательного умения при перерывах в тренировке (251). 64.4. Автоматизированность (252).	
Приложения (В. М. Зациорский) . . . . .	254

Дмитрий Дмитриевич Донской  
Владимир Михайлович Зациорский

## БИОМЕХАНИКА

Заведующая редакцией Л. И. Кулешова. Редактор А. С. Иванова. Художник В. Т. Васильев. Художественный редактор В. А. Жигарев. Технический редактор Т. Ф. Евсеева. Корректор З. Г. Самылкина.

ИБ № 768. Сдано в набор 02. 03. 79. Подписано к печати 06. 09. 79. Формат 60 × 90/16. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Таймс». Офсетная печать. Усл. п. л. 16,50. Уч.-изд. л. 17,73. Тираж 29000 экз. Издат № 5742. Зак. № 187. Цена 90 коп. Ордена «Знак Почета» издательство «Физкультура и спорт» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 101421. Москва, Калужская ул., 27. Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, г. Ярославль, ул. Свободы, 97.